

Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto



Sistemas Flexíveis de Produção

João Pedro Mendes Brandão

VERSÃO FINAL

Dissertação realizada no âmbito do
Mestrado Integrado em Engenharia Eletrotécnica e de Computadores
Major Automação

Orientador: Prof. Dr. Américo Lopes de Azevedo
Co-orientador: Eng. Rui Diogo Rebelo

29 de Novembro de 2012

© João Pedro Mendes Brandão, 2012

Resumo

Os sistemas de produção modernos utilizam de forma crescente equipamentos automáticos, nomeadamente equipamentos baseados em robôs industriais, o que torna estes sistemas cada vez mais complexos. O aumento da complexidade advém da necessidade de aumentar a flexibilidade dos sistemas, de diminuir tempos de espera e também da necessidade de responder aos pedidos, em intervalos de tempo cada vez menores.

De facto, a flexibilidade é hoje um fator importante, dado o tempo de vida reduzido dos produtos e dada a importância que existe de possuir sistemas produtivos flexíveis, capazes de se adaptarem à produção de diferentes tipos de produtos. A flexibilidade de um sistema assenta nas rotas operatórias e nos diversos equipamentos que o constituem. De entre os equipamentos emergentes nos sistemas flexíveis atuais, destacam-se os *Automated Guided Vehicles* (AGVs), veículos que se movem de forma autónoma, sem condutor. Os sistemas com AGVs são concebidos para a realização do transporte de materiais, de forma ininterrupta e sem intervenção direta do homem. Por outro lado são cada vez mais utilizados no manuseamento de matérias em sistemas flexíveis, cuja alteração da produção é o fator suscetível de suceder.

Nesta dissertação estudou-se a aplicabilidade de AGVs em ambiente industrial, em concreto, numa empresa produtora de máquinas para conformação e corte de chapa, cujo portfolio inclui guilhotinas e quinadoras. O projeto inclui um novo sistema de produção e a implementação de um AGV para o transporte de materiais, por forma a aumentar a produção atual e reduzir o número de falhas humanas, uma vez que no sistema atual o transporte é efectuado por operadores. No final, pretende-se obter um sistema devidamente dimensionado, o que inclui, configuração do *layout* e respetivo número de postos de trabalho, taxa de utilização do AGV e material suscetível de ser transportado autonomamente.

Paralelamente, será utilizado um simulador, no qual será desenvolvido virtualmente o sistema de produção, com o intuito de analisar os resultados da implementação do AGV, de uma forma tão próxima da realidade quanto o possível.

Abstract

The modern production systems increasingly use automated equipment, including devices based on industrial robots, which make these systems more complex. The increasing complexity arises from the need to increase the flexibility of the systems, to reduce waiting times and also the need to respond to requests at smaller and smaller intervals.

In fact, the flexibility is nowadays an important factor, given the reduced lifetime of the products and given the importance that exists of owning production systems adapted to produce different products types. The flexibility of a system is based on operative routes and various equipment. Among the emerging equipment in current production systems, we highlight the Automated Guided Vehicles (AGVs), vehicles that move autonomously, without driver. The systems with AGVs are designed to perform the transportation of materials, uninterrupted and without direct human intervention. On the other hand are increasingly used in material handling in flexible systems, which the change of production is likely to succeed.

In this thesis we studied the applicability of AGVs in an industrial environment, specifically, a company that produces cutting machines, whose portfolio includes shears and press brakes. The project includes a new production system and the implementation of an AGV for the material transportation in order to increase the current production and reduce human errors, since the currently system uses operators for the transport of materials. At the end of this study is intended that the system is properly sized, which includes, *layout configuration* and respective number of jobs, utilization rate of the AGV and likely material to be transported separately.

In parallel, will be used a simulator, which will virtually develop the production system, in order to analyze the results of implementation of the AGV, in a manner as realistic as possible.

Agradecimentos

Gostaria de agradecer ao Prof. Dr. Américo Azevedo pela orientação e motivação dedicadas, que me fizeram superar os diversos desafios, e pela oportunidade única que me proporcionou com a atribuição de um tema tão interessante e atual ao nível da engenharia industrial.

Gostaria de agradecer ao Eng. Rui Diogo Rebelo pelo apoio constante ao longo desta dissertação, contribuindo de forma determinante para o alcançar dos objetivos e para a superação dos vários problemas que foram surgindo

Gostaria de agradecer ao meu colega e amigo André Nabais pela amizade, conselhos e ajuda prestados ao longo de todo o percurso que culmina nesta dissertação.

Agradeço também de forma muito especial aos meus pais, pela oportunidade, pela dedicação, pela compreensão e incentivo em todos os momentos.

Agradeço ainda a todos os meus amigos que de uma forma geral compartilharam comigo muitas e nobres experiências ao longo do meu percurso académico

Um Muito Obrigado a todos...

João Pedro Brandão

Índice

Capítulo 1	1
Introdução.....	1
1.1 Enquadramento	1
1.2 Objetivos do projeto.....	1
1.3 Metodologia	3
1.4 Organização do documento.....	3
Capítulo 2	5
Estado do Conhecimento	5
2.1 Sistemas flexíveis de produção	5
2.1.1 Definição	6
2.1.2 Diferentes configurações	7
2.1.3 Abordagem <i>Lean</i>	7
2.2 Logística Interna.....	9
2.2.1 Abastecimento e movimentação de materiais.....	9
2.2.2 Customização de produtos	11
2.2.3 Suporte tecnológico	13
2.3 Automated guided vehicles (AGVs).....	16
2.7.1 Topologias de AGVs.....	16
2.7.2 Sistema de navegação dos AGVs	18
2.7.3 Carregamento da baterias dos AGVs	20
2.7.4 Segurança	22
2.4 Ferramentas de simulação.....	23
2.4.1 Breves Definições	23
2.4.2 Simulação: porquê?.....	24
2.4.3 Escolha do simulador.....	25
Capítulo 3	27
Caso de estudo	27
3.1 Caracterização da empresa.....	27
3.1.1 Representação e evolução	27
3.1.2 Situação atual	28

3.1.3 Projeto mudança de instalações	29
3.2 Novo sistema de produção	29
3.2.1 Problemas atuais	29
3.2.2 Locais de troca	30
3.2.3 Especificações do sistema	31
3.2.4 Encomenda	32
3.2.5 Estantes vazias	33
3.2.6 Prioridades	33
3.2.7 Materiais a transportar	34
3.2.8 AGV	35
3.3 Configurações de <i>layouts</i>	37
3.4.1 Primeira configuração	37
3.4.2 Segunda configuração	41
3.4.3 Terceira configuração	45
Capítulo 4	51
Avaliação do desempenho recorrendo à simulação	51
4.1 Introdução	51
4.2 Familiarização com o <i>software</i>	52
4.2.1 Primeiro projeto	52
4.2.2 Segundo projeto	55
4.3 Simulação da terceira configuração	58
4.3.1 Conceção	58
4.3.2 Resultados	65
Capítulo 5	67
Conclusões	67
5.1 Análise de resultados	67
5.2 Críticas ao trabalho	68
5.3 Perspetivas futuras	68
Referências	69

Lista de figuras

FIGURA 1.1- FASES DO PROJETO	3
FIGURA 2.1- CUSTOMIZAÇÃO DE PRODUTOS PRÓXIMA AO CLIENTE	12
FIGURA 2.2- CUSTOMIZAÇÃO DE PRODUTOS LONGE DO CLIENTE	12
FIGURA 2.3- AGV EMPILHADOR.....	16
FIGURA 2.4 - AGV REBOCADOR	17
FIGURA 2.5- AGV CARREGADOR	17
FIGURA 2.6 - SISTEMA DE NAVEGAÇÃO COM GUIA LASER	18
FIGURA 2.7- SISTEMA DE NAVEGAÇÃO COM GUIA MAGNÉTICA	19
FIGURA 2.8- AGV COM SISTEMA MULTI-NAVEGAÇÃO	20
FIGURA 2.9- SISTEMA DE NAVEGAÇÃO COM GUIA ÓTICO	20
FIGURA 2.10- SUBSTITUIÇÃO MANUAL DE BATERIAS	21
FIGURA 2.11- SUBSTITUIÇÃO AUTOMÁTICA DE BATERIAS	21
FIGURA 2.12- CARREGAMENTO AUTOMÁTICO DE BATERIAS	22
FIGURA 2.13- CARREGAMENTO DE BATERIAS DURANTE O PROCESSO DE PRODUÇÃO	22
FIGURA 3.1- EMPRESA ADIRA, RESPONSÁVEL POR ACOLHER ESTE PROJETO	28
FIGURA 3.2- EXEMPLO DO AGV A SER UTILIZADO NO TRANSPORTE DE MATERIAIS	36
FIGURA 3.3- PRIMEIRO <i>LAYOUT</i> DESENVOLVIDO	38
FIGURA 3.4- DADOS DO PROBLEMA E RESULTADOS PARA UMA VELOCIDADE DE 0,8 m/s.....	39
FIGURA 3.5- DADOS DO PROBLEMA E RESULTADOS PARA UMA VELOCIDADE DE 0,6 m/s.....	40
FIGURA 3.6- DADOS DO PROBLEMA E RESULTADOS PARA UMA VELOCIDADE DE 0,4 m/s.....	41
FIGURA 3.7- SEGUNDO <i>LAYOUT</i> DESENVOLVIDO	42
FIGURA 3.8- DADOS DO PROBLEMA E RESULTADOS PARA UMA VELOCIDADE DE 0,8 m/s.....	43
FIGURA 3.9- DADOS DO PROBLEMA E RESULTADOS PARA UMA VELOCIDADE DE 0,6 m/s.....	44
FIGURA 3.10- DADOS DO PROBLEMA E RESULTADOS PARA UMA VELOCIDADE DE 0,4 m/s.....	45
FIGURA 3.11- TERCEIRO <i>LAYOUT</i> DESENVOLVIDO.....	46
FIGURA 3.12- DADOS DO PROBLEMA E RESULTADOS PARA UMA VELOCIDADE DE 0,8 m/s.....	47
FIGURA 3.13- DADOS DO PROBLEMA E RESULTADOS PARA UMA VELOCIDADE DE 0,6 m/s.....	48
FIGURA 3.14- DADOS DO PROBLEMA E RESULTADOS PARA UMA VELOCIDADE DE 0,4 m/s.....	49
FIGURA 3.15- RETORNO DO INVESTIMENTO	49

FIGURA 4.1- <i>SETUP</i> DO PROJETO 1	53
FIGURA 4.2- CONFIGURAÇÃO FINAL DO PROJETO 1	55
FIGURA 4.3- SIMULAÇÃO DO PROJETO 1	57
FIGURA 4.4- JANELA DE TRABALHO DO <i>SOFTWARE</i> SÍMIO APÓS A INTRODUÇÃO DOS PRIMEIROS OBJETOS	58
FIGURA 4.5- VISTA 3D E 2D DO AGV E RESPECTIVAS ENTIDADES	59
FIGURA 4.6- PROPRIEDADES DO ARMAZÉM	62
FIGURA 4.7- PROPRIEDADES DO AGV	63
FIGURA 4.8- VISÃO GLOBAL EM 3D DO SISTEMA DE PRODUÇÃO	64
FIGURA 4.9- VISÃO GLOBAL EM 3D DO SISTEMA DE PRODUÇÃO EM FUNCIONAMENTO	64
FIGURA 4.10- DEFINIÇÃO DAS HORAS DE TRABALHO	65

Lista de tabelas

TABELA 3.1 - TABELA DE MATERIAIS A SER TRANSPORTADOS	34
TABELA 3.2 – TABELA DE MATERIAIS DE MAIORES DIMENSÕES	35
TABELA 3.3 - PERFORMANCE DO AGV A UMA VELOCIDADE DE 0,8 m/s	38
TABELA 3.4 - PERFORMANCE DO AGV A UMA VELOCIDADE DE 0,6 m/s	39
TABELA 3.5 - PERFORMANCE DO AGV A UMA VELOCIDADE DE 0,4 m/s	40
TABELA 3.6 - PERFORMANCE DO AGV A UMA VELOCIDADE DE 0,8 m/s	42
TABELA 3.7 - PERFORMANCE DO AGV A UMA VELOCIDADE DE 0,6 m/s	43
TABELA 3.8 - PERFORMANCE DO AGV A UMA VELOCIDADE DE 0,4 m/s	44
TABELA 3.9 - PERFORMANCE DO AGV A UMA VELOCIDADE DE 0,8 m/s	46
TABELA 3.10 - PERFORMANCE DO AGV A UMA VELOCIDADE DE 0,6 m/s	47
TABELA 3.11 - PERFORMANCE DO AGV A UMA VELOCIDADE DE 0,4 m/s	48
TABELA 4.1 - TABELA SEQUENCIAL REFERENTE À ROTA DO VEÍCULO	54
TABELA 4.2 - TABELAS REFERENTES À SEQUÊNCIA DE OPERAÇÕES DAS ENTIDADES A, B E C	56
TABELA 4.3 - TABELAS REFERENTES À SEQUÊNCIA DE OPERAÇÕES DAS ENTIDADES A, B, C, D, E ,F E G	59
TABELA 4.4 - TABELA COM OS MOVIMENTOS DO AGV	61
TABELA 4.5 - TABELA COM O NÚMERO DE ENTIDADES DO ARMAZÉM	65
TABELA 4.6 - TABELA COM OS TEMPOS DE OCUPAÇÃO DO AVG PARA 3 VELOCIDADES DIFERENTES	66

Abreviaturas e Símbolos

AGV	Automated Guided Vehicle
ERP	Enterprise Resource Planning
FEUP	Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto
FIFO	First in First out
FMS	Flexible Manufacturing System
UESP	Unidade de Engenharia de Sistemas de Produção
INESC	Instituto de Engenharia de Sistemas e Computadores do Porto
MÊS	Manufacturing Execution Planning
ROBIS	Unidade de Robótica e Sistemas Inteligentes
WIP	Work In Progress
m/s	metros por segundo

Capítulo 1

Introdução

1.1 Enquadramento

No passado, a movimentação de materiais entre postos de trabalho e armazéns era efetuada sobretudo com base em recursos humanos, por vezes integrado em pequenas soluções tecnológicas bastante limitadas, principalmente em termos da sua flexibilidade, como são exemplo os casos dos tapetes e dos rolamentos.

O novo conceito de logística interna de elevada flexibilidade vai possibilitar a produção de produtos customizados de uma forma eficiente, ao permitir a livre movimentação de todo o produto pelo seu curso de fabrico. A robótica móvel era portanto, um conceito pouco explorado e relativamente desconhecido, quer em termos de aplicação quer em termos de resultados, no meio industrial.

Com o surgimento em ambiente industrial da robótica móvel, foi possível reduzir o número de acidentes de trabalho e aumentar a flexibilidade do processo de fabrico. Por outro lado, os veículos autónomos são facilmente integrados com outros sistemas de automação, o que lhes confere mais um ponto a favor no mundo industrial, já que a integração entre sistemas de automação é um dos grandes problemas industriais da atualidade.

O principal problema deste tipo de sistemas robóticos está relacionado por norma com um grande investimento inicial, que com o passar dos anos acaba por se afirmar como uma mais-valia devido à sua robustez, precisão, e baixo custo, quer de manutenção quer de operação.

Com este trabalho pretende-se desenvolver um sistema de produção novo, através da implementação de um AGV no sistema (construção de quinadoras) que utiliza atualmente operadores no transporte.

1.2 Objetivos do projeto

A Unidade de Engenharia de Sistemas de Produção (UESP), em conjunto com a Unidade de Robótica e Sistemas Inteligentes (ROBIS) do INESC TEC, pretende desenvolver um sistema avançado de gestão da logística interna para produtos customizados com o objetivo de gerir diferentes sistemas de movimentação e armazenamento temporário. Esta iniciativa, designada

por “PPS3 - Gestão de operações e logística para produtos customizados” e desenvolvida no âmbito do PRODUTECH - Pólo das Tecnologias de Produção, tem também como objetivo o desenvolvimento de um sistema inovador de posicionamento e movimentação de veículos autónomos guiados (AGV - Automated Guided Vehicle), e a integração entre sistemas logísticos e sistemas de gestão empresarial [1], [23].

Outro objetivo é a conceção e o desenvolvimento de sistemas inovadores de logística interna com elevada flexibilidade. Estes sistemas serão baseados em novos módulos de logística interna e mecanismos de movimentação autónomos, capazes de movimentar simultaneamente produto em curso de fabrico e materiais, entre postos de trabalho com rotas de fabrico distintas. O sistema resultante desta atividade será ainda testado nas fábricas ADIRA, produtora de máquinas-ferramentas, e na EFACEC.

Tratando-se de uma dissertação com prazos bastante limitados, o objetivo passa por implementar apenas a movimentação de materiais, entre postos de trabalho e armazém, e como trabalho futuro possibilitar também a movimentação do produto.

Melhorar os sistemas de localização atuais é o principal desafio desta iniciativa, permitindo deste modo que os sistemas autónomos se possam movimentar em ambientes onde os sistemas tradicionais não funcionam, ou são demasiado dispendiosos para determinadas aplicações.

Caracterizada por pequenas quantidades e relativa diversidade de matérias-primas a distribuir pelos postos de trabalho no momento e na quantidade certa, a produção de produtos customizados afirma-se como uma das principais problemáticas que este projeto procura resolver.

1.3 Metodologia

O trabalho para a dissertação foi dividido em 6 grandes fases, apresentadas na figura seguinte:

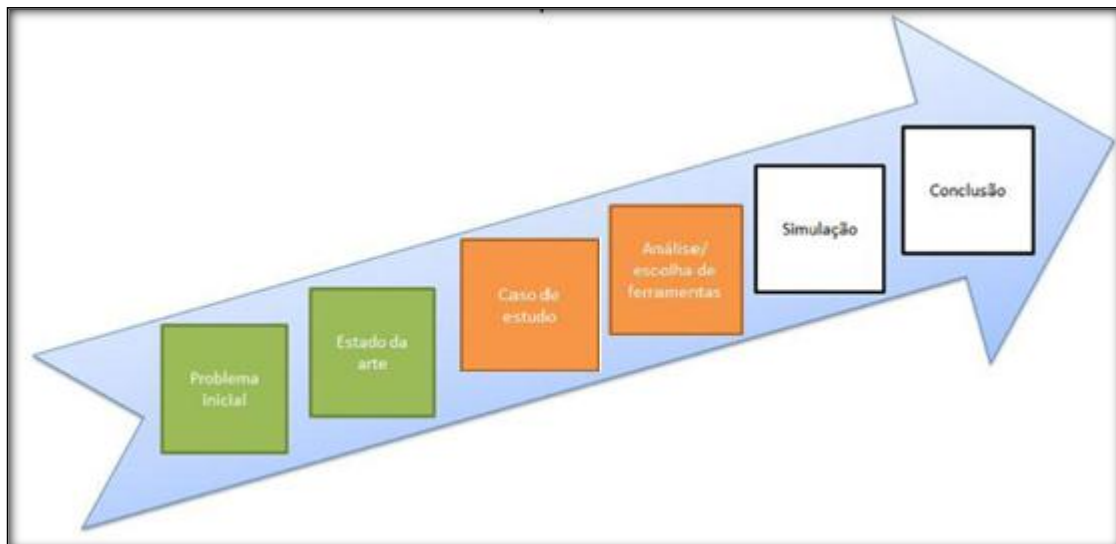


Figura 1.1- Fases do Projeto

A primeira fase denominada de problema inicial, foi aquela onde os objetivos da tese foram apresentados, e com base neles, partiu-se para o estudo do estado da arte com o intuito de conhecer o desenvolvimento da indústria já existente, e também com a preocupação de perceber a diversidade de variáveis que influenciam um sistema flexível de produção.

No final da segunda fase, estando já cientes da realidade atual, é possível avançar para o desenvolvimento do caso de uso. A partir do caso de estudo será efetuada uma escolha da ferramenta de simulação. Após o contato com a mesma e conhecimento das capacidades da aplicação, será possível então passar à fase seguinte que passa por analisar as diferentes soluções para o caso de estudo e posteriormente com o auxílio da simulação confirmar ou refutar a qualidade das soluções obtidas.

A quinta fase, correspondente à simulação, desempenha um papel fundamental neste projeto pois será a fase onde serão testados os novos sistemas passíveis de serem implementados.

A simulação, só é possível conceber, depois de perceber o conjunto de variáveis que se pretende incluir na mesma, pois a flexibilidade do sistema leva a um número elevado de alternativas que deve ser restrito conforme os parâmetros desejados. Por fim há a última fase do projeto, a conclusão, onde será escrita a dissertação e apresentadas as conclusões relativas aos testes efetuados.

1.4 Organização do documento

Para a estrutura desta dissertação optou-se por fazer uma divisão em cinco capítulos.

No primeiro, no qual se encontra esta justificação, é efetuada uma descrição do problema a abordar, um enquadramento do mesmo no panorama atual e quais os objetivos que se pretendem atingir com este estudo.

No segundo capítulo, são apresentadas as soluções e abordagens que atualmente se aplicam na resolução de problemas semelhantes a este, ao mesmo tempo que são explicados os conceitos base cuja compreensão é vital para um perfeito entendimento do problema em geral.

Por sua vez, no terceiro capítulo, estando já cientes da realidade atual, será possível então passar à fase seguinte e desenvolver o caso de estudo, e estudar as diferentes soluções que forem surgindo.

No quarto capítulo, compreendido o caso, surge a ferramenta de simulação. Após o contato com a mesma e conhecimento das capacidades da aplicação, avançar-se-á para a simulação com a finalidade de serem testadas e analisadas as diferentes soluções elaboradas durante o caso de estudo.

Por fim, na última fase do projeto, temos a conclusão, onde serão apresentadas as conclusões relativas aos testes efetuados.

Capítulo 2

Estado do Conhecimento

Neste capítulo será efetuada uma análise ao estado atual dos sistemas de produção e às diferentes configurações que podem ser utilizadas por forma a tornar a produção mais flexível. Seguir-se-á um estudo dos conceitos em torno da logística interna e quais as ferramentas que melhor desempenho nos permitem dentro da mesma. Como consequência, serão analisadas diferentes tipologias de veículos, disponíveis atualmente no mercado, e as soluções que os mesmos oferecem. A última secção será focada nas tecnologias de simulação e nas vantagens que estas nos oferecem na análise do desempenho dos sistemas.

Em suma, os pontos a abordar são os seguintes:

- Sistemas flexíveis de produção;
- Logística interna;
- AGVs ;
- Ferramentas de simulação.

2.1 Sistemas flexíveis de produção

É cada vez mais usual denominar a época que atravessamos, como a era do pós-taylorismo, ou da flexibilidade. As atuais condições de mercado, como a instabilidade, o aumento de concorrência e as exigências específicas dos clientes, colocaram em questão a organização do trabalho taylorista-fordista, recorrendo-se, de forma crescente, à automatização flexível.

A expansão e o predomínio da produção em massa, inerente à criação de mercados suficientemente largos para absorverem a enorme quantidade de mercadorias estandardizadas, seguiram um contexto onde os níveis de produtividade resultavam do incremento e aplicação de elevados graus de especialização, quer de homens, quer de máquinas.

Longe vai o tempo em que a organização do trabalho, marcada pela divisão rígida de funções, fragmentação de tarefas, especialização de conhecimentos, hierarquização e centralização de informações, deu lugar a uma precária flexibilização, frequentemente

reduzida a uma componente técnico-empresarial e a uma flexibilidade quantitativa dos recursos humanos como forma de superar os disfuncionamentos tayloristas.

Contudo, ao pretender-se alcançar uma produção de artigos complexos e de qualidade, em conformidade com as exigências dos clientes e através da variação da produção em termos de produtos, volume e processos, os aspetos organizacionais tornaram-se decisivos numa nova lógica dirigida à implementação de estratégias de produção assentes em automatizações flexíveis. Nos nossos dias, a tendência foca-se no aumento substancial da produção em pequenas séries com elevados graus de diversificação. Está-se portanto, na presença de um tipo de produção flexível com qualidade.

2.1.1 Definição

Um sistema flexível de produção, muitas vezes denominados *flexible manufacturing system* (FMS), consiste num grupo de estações de trabalho interconetadas por sistemas automáticos de manuseamento e armazenamento, e controladas por um sistema computacional integrado [33].

A designação FMS atribuída a estes equipamentos advém da capacidade de processamento de uma variedade de diferentes peças simultaneamente, sob o controlo de programas de comando numérico nas várias estações de trabalho [5].

Os Sistemas Flexíveis de Produção integram muitos dos conceitos e tecnologias mais recentes, nomeadamente:

- Produção flexível;
- Tecnologia de grupos;
- Sistemas automáticos de manuseamento de materiais;
- Máquinas controladas por computador;
- Armazéns automáticos.

Os componentes básicos dos FMS são:

Estações de trabalho: normalmente trata-se de máquinas que executam operações de maquinação sobre conjuntos de componentes. No entanto também é possível encontrar FMS com estações de inspeção, sistemas automatizados de montagem, prensas de chapa, etc.

Sistemas de manuseamento e armazenamento de materiais: Vários tipos de equipamento de transporte e armazenamento automático são usados para o transporte entre as estações de trabalho.

Sistemas de Controlo Computacional: estes sistemas são usados para a coordenação das atividades das estações de trabalho com os sistemas de planeamento. Estes sistemas computacionais muitas vezes são implementados através de autómatos.

Mão de obra: as pessoas são necessárias para a gestão das operações nos FMS. Funções tipicamente desempenhadas por pessoas incluem o abastecimento da célula com peças de matéria-prima, o descarregamento dos componentes fabricados no sistema, a mudança das ferramentas, a manutenção e reparação dos equipamentos, a programação e a operação dos vários sistemas computacionais.

2.1.2 Diferentes configurações

Os sistemas FMS podem ser classificados do seguinte modo:

- **Através da diferença entre sistemas flexíveis de produção e células de produção:** os FMS são geralmente sistemas totalmente automatizados consistindo em estações de processamento, armazéns e controlo computadorizado. As células de produção normalmente incluem sistemas híbridos com automatização e operação manual;
- **Pela geometria das peças:** Habitualmente os FMS são divididos em células que processam materiais com eixo de revolução ou prismáticas. Peças prismáticas tais como cubos necessitam de fresadoras e máquinas relacionadas que definem a forma destas peças. As peças com eixo de revolução são cilíndricas ou com a forma em disco e necessitam de tornos e/ou máquinas com operações rotacionais;
- **Se são FMS dedicados ou com ordem aleatória de processamento:** Um FMS dedicado é usado para a produção de uma variedade limitada de configurações de peças. Neste caso a sequência de maquinação é idêntica ou quase idêntica para as diferentes peças, e os equipamentos não são genéricos mas especializados em determinadas operações. No caso dos FMS com ordem aleatória de processamento a célula é mais flexível mas os equipamentos têm de ser multifuncionais ou universais. O controlo computadorizado é por sua vez mais complexo.

As configurações típicas das FMS enquadram-se nas seguintes 5 categorias [16]:

- Em linha;
- Círculo;
- Escada;
- Campo aberto;
- Célula centrada no robot.

Na conceção de um sistema flexível, torna-se obrigatório identificar problemas e acontecimentos que ponham em causa o cumprimento dos objetivos de um sistema flexível de produção. Como tal, na secção seguinte, são apresentados alguns procedimentos para a melhoria do sistema de produção, e da empresa em geral.

2.1.3 Abordagem *Lean*

A filosofia *Lean* popularizou-se inicialmente na área da manufatura, já que o conceito foi desenvolvido no Sistema Toyota de Produção, por Taiichi Ohno. Esta filosofia, é uma forma de organizar os negócios para que todo o desperdício nos processos seja eliminado ou pelo menos fortemente reduzido. Existe uma confusão natural do termo *Lean* com Seis Sigma, 5S, JIT, entre outros, mas estas últimas são algumas das metodologias e ferramentas que podem ser usadas para implementar uma cultura *Lean*.

Numa abordagem *Lean*, o desperdício é tudo aquilo que não acrescenta valor ao processo. Como exemplos destas situações temos: o tempo que um documento está numa mesa à espera que alguém tome uma ação, *stock* acumulado que não será usado em curto prazo ou um produto terminado que espera autorização para sair.

Efetuada uma avaliação a qualquer processo à maioria das empresas, concluir-se-á que na maior parte do tempo não se está a acrescentar valor na atividade. Frequentemente vê-se que os tempos de espera são muito maiores do que os tempos que alguém está realmente a executar o próximo passo do processo **Erro! A origem da referência não foi encontrada..**

Existem três cuidados importantes que devem ser tidos em conta ao implementar a filosofia *Lean* numa empresa:

- A iniciativa deve estar ligada às necessidades do negócio. Implementar *Lean* só porque está na moda não trará benefícios reais;
- É errado pensar que esta iniciativa pode ficar restrita somente à produção, já que neste caso os ganhos ficarão muito restritos. *Lean* deve ser aplicado em toda a empresa e ao longo da *supply chain*;
- Para uma implementação *Lean*, é necessária uma mudança de cultura na organização. Não é suficiente atribuir uma nova série de regras e esperar que automaticamente a organização se torne excelente. Esta mudança na forma de pensar da equipa de trabalhadores é certamente o maior desafio na execução desta iniciativa, pois existe uma inércia natural no ser humano que o faz resistir a qualquer mudança no seu quotidiano.

Segundo Taiichi Ohno, “Tudo o que fazemos é olhar para a linha temporal, desde o momento em que o cliente nos faz um pedido até ao ponto onde somos pagos. E nós estamos a reduzir a linha temporal, reduzindo os desperdícios que não acrescentam valor”. De facto, ao estudar os processos para reduzir os desperdícios, é importante que os responsáveis “vivam” o processo, acompanhando o fluxo real e vendo onde se está a perder valor. Muitas vezes o processo parece ótimo no papel, mas ao ser executado existem perdas que não estavam previstas, como: o tempo gasto por um funcionário para encontrar uma determinada informação, um documento à espera de ser enviado por fax ou material que fica esquecido por falta de organização.

Desperdícios

Como já foi mencionado, o princípio básico da filosofia *Lean* é a redução do desperdício (em todas as suas formas) nos processos organizacionais.

Estes desperdícios podem ser caracterizados da seguinte forma:

- **Sobreprodução:** criação de *stock* de produto acabado que não será enviado imediatamente ao cliente;
- **Tempo de Espera:** tempos durante os quais o material está à espera sem sofrer qualquer acréscimo de valor (transformação);
- **Transporte:** tempos de trânsito maiores do que seriam estritamente necessários e consequentes custos de ineficiência;

- **Processamento Adicional:** retrabalhos, documentação desnecessária, falta de organização das informações;
- **Inventário:** acumulação de *stocks* que não serão utilizados a curto prazo;
- **Movimentação:** quando pessoas e materiais percorrem distâncias superiores às necessárias, o que gera maiores tempos e custos;
- **Defeitos:** todo o defeito é um desperdício que deve ser evitado.

Segundo Shigeo Shingo “O mais perigoso dos desperdícios é aquele que não conseguimos detetar”. Este pode ser entendido como o oitavo desperdício embora não faça parte da caracterização clássica dos desperdícios agrupados em 7 grupos pela filosofia *Lean*. O desperdício que passa despercebido pode rapidamente multiplicar-se em problemas maiores que se manifestarão em tempos inoportunos. Frequentemente, estas manifestações ocorrem meses e até anos depois da ocorrência deste desperdício não detetado.

Como podemos ver, as oportunidades de redução do desperdício são muitas e variadas. Por isso, esta abordagem não deve ser encarada somente como uma redução de custos [35]. Os benefícios que podem ser obtidos vão muito além disso:

- **Agilidade:** a informação flui com maior velocidade e há uma transparência maior na visualização da procura;
- **Flexibilidade:** rápida adaptação aos aumentos ou reduções na procura e capacidade de alterar facilmente o *mix* de produtos;
- **Capacidade de prever:** as especificações dos clientes podem ser atendidas em tempo “quase-real”;
- **Criação de Valor para o Cliente:** oportunidades de inovação, rápida e definitiva, bem como a resolução de problemas, têm como consequência um aumento do valor do produto.

A obtenção destes benefícios é realista, mas não é simples. Envolve naturalmente uma mudança de cultura em larga escala.

2.2 Logística Interna

2.2.1 Abastecimento e movimentação de materiais

A logística é um conceito muito amplo, que em poucas palavras pode ser traduzido pelo fluxo, movimentação ou deslocação de pessoas, materiais e objetos, ou seja, qualquer fluxo físico e/ou informacional.

Desde a antiguidade, que os líderes militares se servem da logística. As guerras eram longas e geralmente distantes e eram necessários grandes e constantes deslocamentos de recursos. Para transportar as tropas, armamentos e carros de guerra pesados aos locais de combate, era necessário o planejamento, organização e execução de tarefas logísticas, que envolviam a definição de uma rota.

A realidade nos nossos dias é consideravelmente diferente embora assente em princípios semelhantes. A passagem para uma abordagem focada em qualidade e não em quantidade é uma das principais diferenças que obriga a novas exigências em termos logísticos no meio industrial. As novas exigências para a atividade logística no mundo passam pelo maior controlo e identificação de oportunidades de redução de custos, redução nos prazos de entrega e aumento da qualidade no cumprimento do prazo, bem como, disponibilidade constante dos produtos, programação das entregas, facilidade na gestão dos pedidos, flexibilidade da produção, análises de longo prazo com incrementos em inovação tecnológica, novas ferramentas para redefinição de processos e adequação dos negócios.

Tendo em conta o decréscimo na utilização da metodologia de produção em massa, já que cada vez mais surge a necessidade das empresas produzirem de acordo com as expectativas do cliente, e até excede-las, a gama de produtos é cada vez maior e mais personalizada, tendo como consequência a diminuição do tamanho dos lotes bem como a necessidade da empresa conseguir adaptar rapidamente todas as entidades relacionadas ao processo de manufatura com os novos pedidos de produção, nomeadamente sistemas de informação e recursos utilizados no processo de fabrico, e com a própria flexibilidade dos *layouts* fabris [25].

Ora dentro destas novas exigências existe uma sub-área denominada logística interna que engloba todos os fluxos, movimentações físicas e operações de apoio (etiquetagem, "*picking*", etc.), que são realizadas dentro do armazém e fábrica das empresas.

Como tal, existe a necessidade de que a logística interna de produção esteja fortemente coordenada com os recursos de manufatura, uma vez que se encontram integrados num ambiente em que a complexidade, variabilidade e volumes dos produtos é uma realidade em constante mudança. Entenda-se que logística interna de produção engloba todos os fluxos, movimentações físicas e operações de apoio (etiquetagem, "*picking*", etc.), que são realizadas dentro do armazém e chão de fábrica.

Existem diversas operações logísticas executadas num armazém ou fábrica tais como: receção de material (matéria-prima, embalagens, etc.), armazenagem, "*picking*", expedição de produto acabado, abastecimento de linhas de produção, recolha de produto acabado, paletização, etiquetagem, etc. A dificuldade vem de saber como o valor é criado, aplicado, medido e traduzido. Que ações/atividades criam valor? Quanto está o cliente disposto a pagar por ele [28]?

Segundo Fleury e Porter "A integração interna, ou seja, a gestão integrada dos diversos componentes do sistema logístico, é uma condição necessária para que as empresas consigam atingir excelência operacional com baixo custo".

A logística interna é diretamente responsável pela cadeia de valor da empresa quando procura otimizar os processos inerentes às atividades tais como, a infra-estrutura do *layout* de distribuição interna da empresa e sistemas de informação, desenvolvimento de tecnologias de aquisição e atividades primárias de apoio, manutenção de *stocks* mínimos, entrega dos produtos nos locais de utilização e outras atividades ligadas à produção do produto final, sendo este obtido no tempo correto, com a qualidade ideal e utilizando o mínimo de recursos

possíveis, o que agregará valor ao produto. Mesmo quando ligadas a conceitos de planejamento divergentes como MRP/ERP e *Lean manufacturing* a logística é uma atividade que pode tornar-se no ponto crítico ou *bottle neck*, dependendo do bom relacionamento com fornecedores e entregas no prazo correto, podendo afetar a produção de forma a destabilizar a cadência produtiva e gerar atrasos de entregas, ociosidades e falhas na mão-de-obra.

A maioria das operações produz mais de um produto ou serviço. Além disso, a maioria delas não produz produtos ou serviços em quantidades elevadas ou suficientes para dedicar todas as partes das atividades exclusivamente a um produto ou serviço. Isso significa que a maioria das partes de qualquer operação terá que processar mais de um tipo de produto ou serviço e então precisará, por vezes, abandonar uma atividade para dedicar-se a outra. Esta análise poderá servir de parâmetro para investimentos na área visto que, caso os problemas não sejam resolvidos, continuarão a consumir-se os recursos.

Geralmente a falta de planejamento ou descontrole na logística evidencia-se no momento em que a produção necessita de material e este não se encontra a disposição; ou seja, não há o mesmo em *stock*.

Estas políticas podem afetar a imagem da empresa no mercado e devem ser cuidadosamente estudadas. Uma empresa que opte em mudar as operações para o sistema *just-in-time*, por exemplo, deve fazer a transição para que esta não venha a afetar o ciclo do pedido e o prazo de entrega final, ou terá a sua imagem afetada junto do cliente, comprometendo o futuro.

Em termos de logística interna está atualmente em foco a abordagem *Mizusumashi*. Esta abordagem procura processar a próxima atividade de acordo com uma lista de prioridades, ou seja, verificar qual a próxima operação pendente e executá-la. Não é mais do que um operador de abastecimento interno, que tem como função fornecer materiais aos diversos postos de trabalho. Tendo um princípio idêntico ao *Milk-Run*, os abastecedores podem também seguir rotas normalizadas e transportam pequenas quantidades em horários definidos [15].

Os objetivos passam por:

- Separar a montagem da alimentação;
- Aumentar a produtividade do operador;
- Aumentar a qualidade;
- Reduzir espaços ocupados e WIP.

2.2.2 Customização de produtos

A tendência mundial no desenvolvimento de produtos direciona-se para que cada vez mais os clientes ou consumidores individuais possam personalizá-los conforme as suas necessidades.

Neste cenário, a principal regra para o sucesso é que a customização seja o mais perto possível do cliente (ao longo da *supply chain*). Quanto mais variáveis forem introduzidas nas fases iniciais da cadeia, maior será sua complexidade como um todo [17].

Isto inicialmente parece lógico e simples, mas a realidade muitas vezes é outra. A dificuldade vem a partir dos seguintes fatores:

- falta de uma visão ampla da *supply chain* (ponta-a-ponta);

- falta de tecnologia necessária para configurar e monitorizar o produto ao longo de todos os fabricantes e distribuidores;
- falta de capacidade e vontade de colaboração entre os diversos elos da cadeia.

As figuras seguintes mostram como a complexidade da cadeia muda, quando a customização é efetuada longe do cliente:

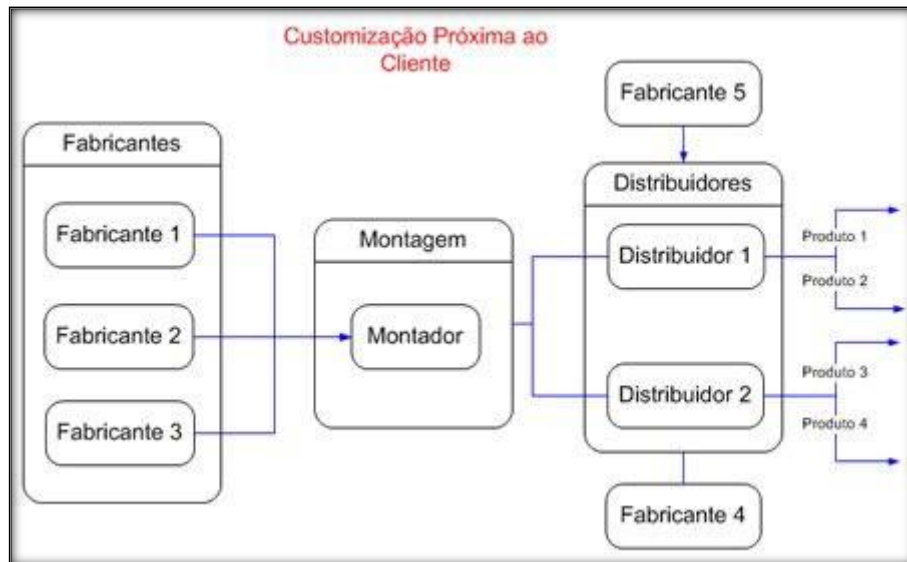


Figura 2.1- Customização de produtos próxima ao cliente

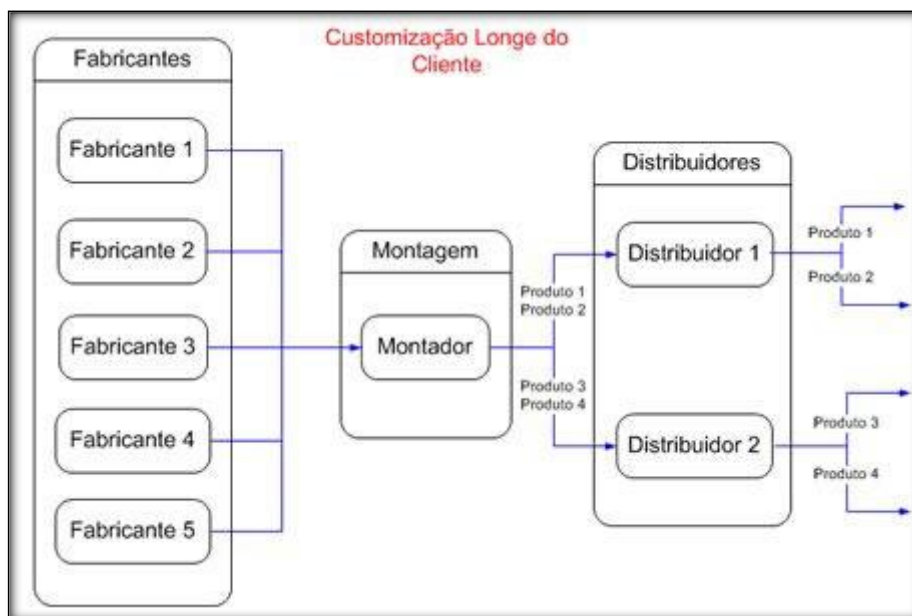


Figura 2.2- Customização de produtos longe do cliente

Aumentar as variáveis em etapas iniciais do processo produtivo originará mais caminhos e fluxos, o que dificulta a gestão. Numa análise inicial parece uma diferença simples e o efeito

pode parecer pequeno, mas imagine-se a multiplicação por dezenas de fornecedores e distribuidores.

O desenvolvimento de produtos customizáveis deve sempre levar em conta a *supply chain*. Os responsáveis pela inovação devem desenhar o produto de forma a permitir a criação de módulos básicos (iguais em todas as variações) e a diversificação em pontos posteriores da cadeia. Esta integração entre desenvolvimento, manufatura e logística pode ser um diferencial estratégico para as empresas.

Para que se permita a customização sem grandes aumentos no custo logístico, deve-se investir em colaboração, tecnologia e desenho de processos.

2.2.3 Suporte tecnológico

Enterprise resource planning (ERP)

Os ERPs são sistemas de informação que integram todos os dados e processos de uma organização num único sistema. A integração pode ser vista sob uma perspectiva funcional (sistemas de: finanças, contabilidade, recursos humanos, produção, marketing, vendas, compras, etc) e uma perspectiva sistêmica (sistema de processamento de transações, sistemas de informações, sistemas de apoio à decisão, etc) [22].

Os ERPs em termos gerais, são uma plataforma de *software* desenvolvida para integrar os diversos departamentos de uma empresa, possibilitando a automação e armazenamento de todas as informações de negócios.

Citando Cox & Blackstone Jr. (1998) “o ERP é um sistema de informação orientado para identificar e planejar todos os recursos da empresa necessários para atender aos pedidos dos clientes em termos de manufatura, distribuição e serviços”. Essencialmente, o ERP tenta englobar toda a empresa [29].

Uma das grandes vantagens dos sistemas ERP é a consistência das informações, ou seja, o sistema diminui as divergências entre dados relativos ao um mesmo assunto fornecido por departamentos diferentes, a partir da utilização de uma única base de dados.

Entre as mudanças mais palpáveis que um sistema de ERP propicia a uma corporação, está a maior confiabilidade dos dados, agora monitorizados em tempo real, e a diminuição do retrabalho, alcançado com o auxílio e o comprometimento dos funcionários, responsáveis por fazer a atualização sistemática dos dados que alimentam toda a cadeia de módulos do ERP e que, em último caso, permitem a interação na empresa. Assim, as informações fluem pelos módulos em tempo real, ou seja, uma ordem de vendas dispara o processo de produção com o envio da informação para múltiplas bases, desde os *stocks* até à logística do produto. Tudo realizado com dados integrados e não redundantes.

Um bom exemplo de como o ERP revoluciona uma empresa é que uma nova infraestrutura logística pode ser repensada, através de uma melhor administração da produção. Neste caso, ao controlar e entender melhor todas as etapas que levam a um produto final, a empresa pode chegar ao ponto de produzir de forma mais inteligente, rápida e melhor, o que, por outras palavras, significa reduzir o tempo que o produto fica parado em *stock*.

A tomada de decisões também ganha uma outra dinâmica. Imagine-se uma empresa que por alguma razão, talvez uma mudança nas normas de segurança, necessite modificar aspetos

da produção de um dos seus produtos. Com o ERP, todas as áreas corporativas são informadas e prontamente se preparam de uma forma integrada para o evento, desde o departamento de compras até à linha de produção, chegando mesmo à área de marketing, que pode assim ter informações para mudar algo nas campanhas publicitárias dos produtos. Tudo isto realizado num período de tempo muito mais curto do que aquele que seria possível sem a presença do ERP.

De acordo com a empresa, é possível direcionar ou adaptar o ERP para outros objetivos, estabelecendo prioridades que tanto podem estar na linha de produção como no apoio ao departamento de vendas, como na distribuição, entre outras. Com a capacidade de integração dos módulos, é possível diagnosticar as áreas mais ou menos eficientes, e focar a atenção nos processos cujo desempenho possa ser melhorado.

Vantagens

Algumas das vantagens da implementação de um ERP numa empresa são:

- Eliminação do uso de interfaces manuais;
- Redução de custos;
- Otimização do fluxo de informação e da qualidade da mesma dentro da organização (eficiência);
- Otimização do processo de tomada de decisão;
- Eliminação da redundância de atividades;
- Redução dos limites de tempo de resposta ao mercado;
- Incorporação de melhores práticas (codificadas no ERP) aos processos internos da empresa;
- Redução de *stocks*.

Desvantagens

Algumas das desvantagens da implementação de um ERP numa empresa são:

- A utilização do ERP por si só não torna uma empresa verdadeiramente integrada;
- Altos custos que muitas vezes não comprovam a relação custo/benefício;
- Dependência do fornecedor do pacote;
- A adoção de melhores práticas, aumenta o grau de imitação e padronização entre as empresas dentro de um segmento;
- Torna os módulos dependentes uns dos outros, pois cada departamento depende das informações do módulo anterior, logo, as informações têm que ser constantemente atualizadas, uma vez que as informações são em tempo real, ocasionando implicará maior trabalho;
- Aumento da carga de trabalho dos servidores da empresa e extrema dependência dos mesmos.

Manufacturing Execution Systems (MES)

MES (*Manufacturing Execution Systems*), são soluções tecnológicas que têm o objetivo de gerir todas as etapas de produção. A importância destes sistemas, surge da lacuna que normalmente existe entre o ERP (*Enterprise Resource Planning*) e os *softwares* específicos da linha de produção [27][31].

O MES pode importar dados do ERP e integrá-los no dia-a-dia da produção, gerindo e sincronizando as tarefas produtivas com o fluxo de materiais. Considerando que o maior valor acrescentado costuma ser ao nível da produção, faz todo sentido investir em sistemas que otimizem o fluxo, controlo e qualidade do material.

Estas são algumas das funções que os sistemas MES costumam possuir:

- Importação de dados do sistema ERP: itens, estações de trabalho, armazenamento, *stock*, planos de qualidade, dados dos funcionários, etc;
- Importação de parâmetros para a produção, como pedidos e prioridades de manufatura;
- Emissão automatizada de instruções para que o armazém entregue o material nas células de trabalho;
- Exibição da fila de trabalho, instruções e documentação específica para a célula de trabalho, em função das prioridades definidas anteriormente;
- Armazenamento das informações das atividades da produção: tempos de operação (por operador), tempos de máquinas, componentes usados, material desperdiçado, etc;
- Instruções para reposição de material na linha de produção;
- Armazenamento e divulgação dos dados de qualidade;
- Monitorização da produção em tempo real, e ajustes em todas as etapas conforme seja necessário;
- Análise de métricas e desempenho da produção.

Os principais benefícios que podem ser obtidos na implementação do MES são:

- Redução do desperdício (excesso de produção, tempos de espera, inventário desnecessário, defeitos);
- Redução dos tempos de produção;
- Redução dos custos de mão de obra e treino;
- Apoio à manufatura baseada na filosofia *Lean*;
- Apoio à melhoria contínua;
- Melhoria da confiabilidade do produto final (melhor qualidade);
- Aumento da visibilidade nas atividades do chão de fábrica, assim como dos custos do processo de manufatura.

2.3 Automated guided vehicles (AGVs)

Um AGV é um veículo que opera sem qualquer operador. AGVs podem ter diferentes tipos de tarefas de trabalho, mas são principalmente usados na indústria para o transporte de mercadorias. A maioria dos AGVs utilizados são eletricamente alimentados com baterias e eles podem ser usados para transportar qualquer coisa cuja massa seja de alguns quilos ou de várias toneladas [18].

Desde sua introdução nos anos 50, estes veículos vêm sendo utilizados em todo o tipo de indústrias sendo que a sua principal restrição resulta das dimensões dos produtos a serem transportados ou considerações espaciais. Dentro da ampla gama de indústrias destes veículos, destacam-se aquelas que contêm as seguintes características [21]:

- Movimentos repetitivos de materiais a uma distância;
- Entrega regular de material;
- Entregas on-time críticas;
- Processos onde o material de monitoramento é importante.

Quanto aos benefícios, destaca-se o controlo em tempo real do transporte e movimentação de materiais pelo AGV, permitindo desta forma a identificação dos mesmos e das rotas que seguem, traduzindo-se num menor *stock* e consequentemente custos de *stock* mais baixos, numa redução de atrasos e numa melhor resposta às exigências [3]. Assim, um AGV pode melhorar o ambiente de trabalho, reduzir danos ao produto e proporcionar melhor controlo de *stocks* e qualidade [4].

Muitas aplicações de AGVs são tecnicamente viáveis, mas a compra e implementação de tais sistemas é geralmente baseada em considerações de ordem económica.

Com base nesta visão geral dos AGVs, será importante focar este estudo nos aspetos mais relevantes, começando por analisar os diferentes tipos de AGVs que existem no mercado, seguindo-se o sistema de navegação, passando pela segurança e pelos métodos de carregamento das respetivas baterias.

2.7.1 Topologias de AGVs

Atualmente, os AGVs podem ser divididos em diferentes topologias [19], representadas nas figuras seguintes:

- Empilhadores:



Figura 2.3- AGV empilhador

- Rebocadores:



Figura 2.4 - AGV rebocador

- Carregadores:



Figura 2.5- AGV carregador

Os diversos tipos diferem nas suas propriedades mecânicas, cada um especializado numa determinada área de aplicação. Esta variedade de soluções têm influência direta na eficiência com que executam o seu trabalho, sendo essencial uma escolha adequada para cada problema. Grande parte dos produtores destes veículos permite soluções personalizadas, que vão de encontro às necessidades de cada cliente.

2.7.2 Sistema de navegação dos AGVs

Existem várias alternativas no mercado para a escolha do sistema de navegação do AGVs. Cada uma delas tem características diferentes, sendo que dentro das aplicações a que se destinam estes equipamentos, existem alternativas que podem ser mais ou menos adequadas ao problema.

Sistema com guia Laser (Figura 2.6): Normalmente os veículos guiados por laser são denominados LGV (Laser Guided Vehicle). A tecnologia de guia laser usa como referência alguns refletores colocados nas paredes ou vigas dispostas ao longo do percurso dos veículos que permitem calcular a sua posição em cada momento. A vantagem principal do sistema laser é a ausência de dispositivos relacionados fisicamente com os percursos (fio, ímanes, faixas pintadas, etc.). A guia laser pode ser controlada e modificada facilmente mediante *software* e, isto irá garantir uma grande flexibilidade no momento em que for preciso ampliar a rede [4].

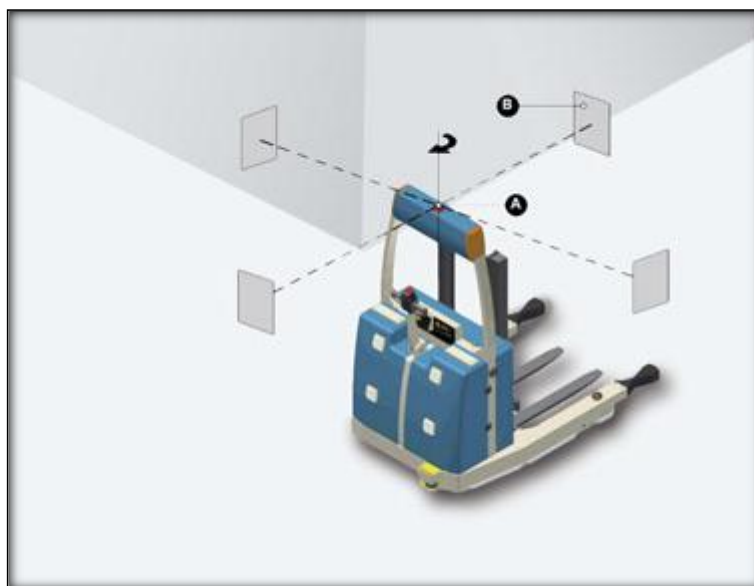


Figura 2.6 - Sistema de navegação com guia laser

Sistema com guia Magnética e/ou guia Giró-Magnética (Figura 2.7): A navegação dos sistemas giromagnéticos, acontece com a ajuda de pequenos ímanes colocados no chão de fábrica. Pares de ímanes são colocados com uma distância de 5 a 10 metros entre si e instalados numa perfuração feita no chão. A tecnologia giroscópica mantém o AGV na direcção correta enquanto este viaja entre ímanes [4].

Os sistemas magnéticos operam de forma similar aos giró-magnéticos. A principal diferença está no íman contínuo ao longo do caminho que segue uma tira.

A guia magnética é utilizada quando não é possível dispor corretamente os refletores e quando os veículos não podem ser fornecidos, por várias razões, com sensor laser:

- A zona de manobra dos veículos nem sempre está livre pois é preciso empilhar várias unidades UDC que podem tapar parcial ou totalmente os refletores;
- Grandes áreas abertas;
- Zonas de passagem ou áreas não completamente protegidas contra as intempéries. Neste caso a máquina AGV usa pequenos ímanes permanentes (denominados *spots*) para se movimentar.



Figura 2.7- Sistema de navegação com guia magnética

Sistema combinado com multi-navegação (Figura 2.8): A “multi-navegação” é utilizada quando, por vários motivos, é necessário combinar o sistema de guia laser com um outro sistema (por exemplo: Guia magnética).

O veículo utilizará o sistema mais adequado segundo à posição que ocupa dentro do local de instalação.

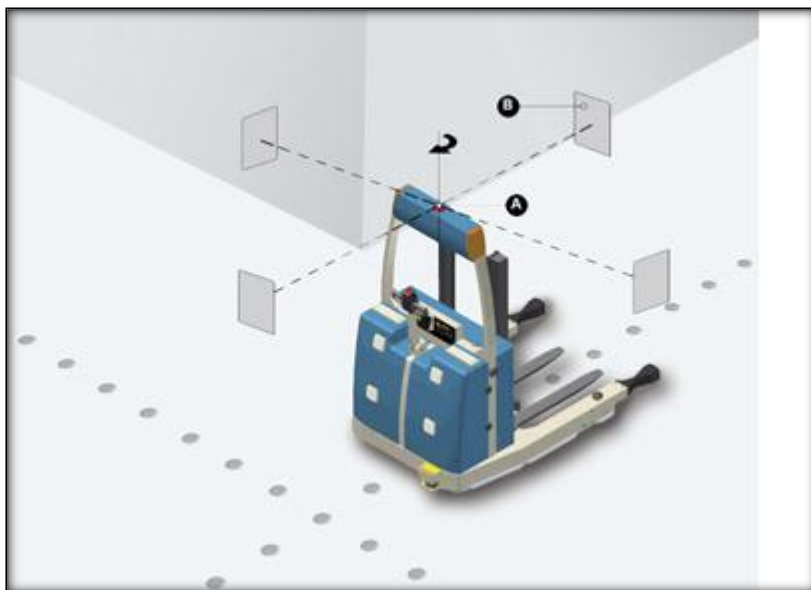


Figura 2.8- AGV com sistema multi-navegação

Sistema com guia ótico (Figura 2.9): neste caso, o sistema segue uma linha pintada no chão de fábrica.



Figura 2.9- Sistema de navegação com guia ótico

2.7.3 Carregamento da baterias dos AGVs

Tal como nas topologias e nos sistemas de navegação, também no carregamento de baterias é necessário avaliar cada sistema de produção e verificar qual a solução que mais se adequa não descurando a necessidade de reservar um local nas instalações da empresa que será posteriormente utilizado para o carregamento das baterias.

Das diversas opções disponíveis, destacam-se:

Substituição Manual (Figura 2.10): Este tipo de operação requer um operador presente no local, de forma a retirar a bateria descarregada do AGV, substituindo-a por uma bateria completamente recarregada. Tipicamente são necessários entre 5 a 10 minutos para realizar esta operação de substituição [7].



Figura 2.10- Substituição manual de baterias

Substituição Automática (Figura 2.11): Neste caso, é necessária a aquisição de um equipamento extra adequado para esta operação. Nesta solução o veículo desloca-se para uma determinada área onde uma máquina automatizada substitui a bateria por uma completamente carregada. Esta máquina terá ainda a função de colocar a bateria descarregada num local de carregamento, garantindo que apenas baterias completamente carregadas sejam colocadas nos AGVs [8].



Figura 2.11- Substituição automática de baterias

Carregamento Automático ou por Oportunidade (Figura 2.12): Esta operação consiste na deslocação automática do AGV para um local onde as baterias são carregadas de forma automática sempre que o nível de carga assim o exija e o veículo não esteja a ser solicitado no sistema.



Figura 2.12- Carregamento automático de baterias

Carregamento de baterias durante o processo de produção (Figura 2.13): Neste caso a operação de recarregamento de baterias é integrado no processo de produção aproveitando o facto de o AGV realizar tarefas com tempos de espera durante o mesmo, permitindo que não seja necessária a retirada do AGV para uma zona específica destinada apenas para o carregamento de baterias [7].



Figura 2.13- Carregamento de baterias durante o processo de produção

A escolha da solução mais adequada para o sistema de produção deve ter em conta o tempo que os veículos perdem durante a colocação de uma nova bateria (chumbo, Ni-MH, Lítio, etc).

Como último aspeto a salientar num sistema com AGV surge a integração do veículo com o ambiente envolvente e consequentes riscos e contrariedades que o veículo coloca ao bom funcionamento do sistema de produção e das pessoas que o rodeiam. Como tal, o tema da segurança é abordado na secção seguinte.

2.7.4 Segurança

Um defeito no controlo do AGV não deve gerar situações perigosas. De facto, a segurança é um aspeto prioritário quando o tema envolve pessoas, máquinas e ambientes industriais.

Como tal, os AGVs incorporam sistemas de segurança por forma a minimizar os riscos de acidente durante as diversas operações, desde luzes de aviso a alarmes sonoros [13].

As soluções ao nível de segurança não variam muito entre fabricantes.

Pára-choques - Componente de proteção frontal, lateral e traseiro que protege o AGV de colisões indesejáveis [6].

Sistemas anticolisão - Incorporados quer nos pára-choques quer no próprio corpo do AGV, os sistemas de anticolisão utilizam diversos sensores estrategicamente montados, que permitem ao AGV, durante os seus percursos, detetar obstáculos, imobilizando ou desviando automaticamente o veículo antes de este os atingir.

Luzes de aviso - As luzes de aviso têm duas funções distintas. Por um lado sinalizam possíveis avarias no AGV, e por outro, informam as pessoas que o rodeiam acerca do modo de operação em utilização naquele momento, de acordo com a luz indicada.

Sinais sonoros - Os sinais sonoros são normalmente de dois tipos distintos e acompanham as luzes de aviso. É emitido um som quando o AGV está em funcionamento correto e outro som, com frequência diferente, quando algum alarme é disparado [9].

Botões de emergência - Cada AGV vem munido de botões de emergência. Quando ativados, o AGV entra num estado de emergência onde todos os equipamentos relacionados com a parte de movimentação são desativados, e o AGV é totalmente imobilizado [10].

2.4 Ferramentas de simulação

A modelação e simulação de sistemas de produção têm vindo a crescer quase desde o nascimento dos computadores. Vários trabalhos de investigação mostram que a simulação de sistemas de produção têm-se revelado um importante passo no seu desenvolvimento e optimização. A abordagem por simulação tem provado ser uma ferramenta de apoio à decisão amplamente aceite. Esta abordagem pode ser utilizada para avaliar vários tipos de situações, como a reconfiguração dos layouts, a introdução de novos produtos ou máquinas, ou adopção de diferentes políticas de produção.

Será então importante efetuar uma familiarização com os principais conceitos de modelação e simulação, de forma a introduzir alguns assuntos que vão ser tratados ao longo deste trabalho.

2.4.1 Breves Definições

Ao abordar qualquer assunto, é importante clarificar desde o início aquilo a que nos estamos a referir e o significado exato dos conceitos utilizados. Neste caso específico, existem três conceitos muito importantes que serão frequentemente referidos: sistema, modelo e simulação.

Um sistema é "um conjunto de elementos conetados que trabalham de forma interligada", mais especificamente, é qualquer objeto (ou conjunto de objetos) que se pretende estudar. Um modelo é "é uma representação aproximada do objeto sobre o qual se pretende concentrar as atenções", ou seja o termo modelo será utilizado para descrever alguma representação aproximada do que estiver a ser efetivamente estudado. Simular é "imitar ou reproduzir a aparência, caráter, ou condições, portanto, uma substituição da realidade" [24].

2.4.2 Simulação: porquê?

As ferramentas de simulação são cada vez mais importantes, uma vez que ajudam no planeamento da produção e de processos cada vez mais complexos, assegurando que um sistema bem sucedido seja projetado no menor período de tempo.

A simulação tornou-se assim um procedimento padrão para muitas empresas quando uma alteração na produção está a ser investigada ou um sistema novo está a ser desenvolvido. Contudo a simulação não é por si só uma técnica de optimização. É uma técnica de avaliação do desempenho do sistema. Pode ser vista como uma ferramenta de decisão, pois permite uma análise e avaliação das consequências da escolha de diferentes opções no sistema estudado [1].

Vantagens

- Quando um novo sistema é planeado desde o princípio, a simulação permite que um sistema hipotético seja avaliado quando ele ainda não existe;
- A simulação fornece um excelente meio de comunicação de ideias: fornece uma representação gráfica do sistema a ser estudado, incorporando animação em 3D, o que irá permitir uma melhor visualização do processo. Isto proporciona uma maior compreensão dos desafios e das características operacionais;
- A simulação permite testar um sistema em condições extremas que poderiam ser potencialmente perigosas;
- A simulação também fornece uma ferramenta educacional para ensinar os operadores e os supervisores de como o sistema irá operar. As estratégias de gestão, programação, manutenção e operações podem ser exploradas com maior compreensão;
- A simulação de sistemas obriga à realização de um levantamento de todos os processos e respetivas variáveis do sistema;
- Possibilita um controlo temporal sobre o sistema, podendo simular em curtos intervalos de tempo grandes durações temporais reais [1];

Desvantagens

- A simulação não é o sistema real mas apenas uma aproximação. Isso significa que há sempre algum grau de erro derivado da utilização de pressupostos e estimativas;
- A modelização de sistemas complexos pode impor elevados custos e meses de desenvolvimento, principalmente em casos em que existe dificuldade na obtenção de dados. A simulação não gera resultados fiáveis sem *inputs* apropriados;
- A execução de simulações estocástica apenas produz estimativas dos parâmetros analisados. Apesar de programas de simulação recentes já possuírem ferramentas mais desenvolvidas, o que permite a obtenção de melhores resultados, não garantem que a solução encontrada seja a solução ótima;
- A construção do modelo requer um trabalho árduo, com método e criterioso;

- Os modelos desenvolvidos não são reutilizáveis para outros sistemas, o que pode prejudicar a possibilidade de ganhos de tempo consideráveis;
- Como em qualquer sistema, o modelo é tão preciso quanto maior for a precisão dos dados inseridos, ou seja não existirão bons resultados com informações incorretas nos dados de entrada [[1], [28], [36]].

2.4.3 Escolha do simulador

Uma fase importante para desenvolver uma simulação, corresponde à escolha do simulador. A melhor ou pior escolha do simulador, bem como a linguagem de programação utilizado pode influenciar de forma crítica o sucesso da respetiva experiência.

De seguida são apresentados alguns dos simuladores atualmente presentes no mercado, de forma sucinta, e que segundo os seus fabricantes se adequam à simulação de sistemas de transporte de materiais utilizados atualmente num processo de produção.

ShowFlow: Software desenhado para a modelação, simulação, animação e análise de processos de logística, manufatura e transporte de materiais. Este software permite obter informação em relação ao *throughput* do sistema de produção, a identificação de gargalos, lead times e taxas de utilização dos recursos.

Pode ser usado para suportar decisões de investimento, verificação de sistemas de manufatura em fase de projeto, testar diferentes estratégias de manufatura e a realização de testes de performance do nosso sistema.

Whitness: É uma ferramenta de simulação de processos dinâmicos que permite validar um sistema de produção. Permite verificar se o sistema atinge a performance esperada apoiando uma organização na melhoria contínua do seu processo de fabrico.

Estão ainda disponíveis no mercado outros simuladores, tais como: o Anylogic, o Rockwell ARENA e o SIMIO *software*.

O Anylogic é uma ferramenta de simulação que suporta todas as metodologias de simulação mais comuns nos nossos dias: desde sistemas dinâmico, baseado em agentes, ou orientada a eventos discretos. Esta flexibilidade única, permitida pelas diferentes linguagens de modelação, possibilita ao utilizador “absorver” a complexidade e heterogeneidade dos sistemas (negócios, económicos, sociais) para qualquer nível de detalhe pretendido. Esta ferramenta de simulação possui ainda uma interface gráfica e livrarias de objetos os quais permitem rapidamente ao utilizador modelar diferentes áreas, desde logística e manufatura, negócios, recursos humanos, comportamento de consumidores e pacientes. No software Anylogic para a definição de estruturas de dados complexas, algoritmos e conectividade externa é utilizada a linguagem de programação Java [20].

O *software* Simio é uma ferramenta utilizada na criação e execução sistemas dinâmicos, de forma a possibilitar ao utilizador uma boa perspectiva de como esses sistemas funcionam. Simio exhibe uma animação 3D do comportamento dos sistemas modelados ao longo do tempo. Simio permite a consulta dos sistemas propostos antes destes serem construídos ou alterados.

Apesar da presença da simulação e da animação desde à vários anos no mercado, este software permite modelados drasticamente mais simples, através de uma abordagem orientada aos objetos. Os objetos representam componentes físicos tais como estações de trabalho ou tapetes numa fábrica. Este estilo de modelação orientada aos objetos torna-se muito natural e intuitiva durante o processo de modelação, o que é sempre do agrado do utilizador [38].

O software ARENA foi desenvolvido pela empresa Rockwell ARENA com o objetivo de se tornar uma ferramenta de ajuda na demonstração, previsão e medição das consequências da tomada de determinadas escolhas estratégicas (off-line) permitindo aumentar a eficiência e eficácia, ou seja otimizar a performance do sistema. Esta ferramenta contém recursos para modelagem de processos, design de animações, análise estatística e análise de resultados. Para isso basta recorrer a livrarias já integradas na ferramenta, tornando-a numa ferramenta bastante eficiente para a área de reengenharia, manufatura, logística [25].

A modelação dos sistemas é realizada construindo um modelo lógico-matemático que representa a dinâmica do sistema em estudo. Esta modelação é executada recorrendo a objetos orientados à simulação não sendo necessário ao utilizador o desenvolvimento de código de programação.

Tal como o Anylogic possui ferramentas de apoio à análise de dados, devolvendo ao utilizador um registo geral do comportamento do sistema, no final de cada modelação.

O software seleccionado para o apoio na realização desta dissertação foi o software SIMIO, devido à sua facilidade de uso bem como do estilo de modelação bastante intuitivo.

Capítulo 3

Caso de estudo

Neste capítulo será efetuada uma apresentação da empresa que acolheu esse projeto e as razões que conduziram à mudança do sistema de produção. Em seguida será apresentado o novo sistema de produção juntamente com todos os elementos que o compõem, e será ainda explicado de que forma é que esses elementos interagem entre eles. Posteriormente serão apresentados as diferentes configurações de *layout* que foram surgindo com o desenrolar do projeto, configurações essas sujeitas a análises de desempenho apresentadas no final do capítulo.

Em suma, os pontos a abordar são os seguintes:

- Caracterização da empresa;
- Novo sistema de produção;
- Configurações de *layouts*.

3.1 Caracterização da empresa

A empresa é um dos líderes mundiais no fabrico de máquinas para conformação e corte de chapa, cujo portfolio inclui guilhotinas, quinadoras/dobradeiras hidráulicas, máquinas de corte laser, células robotizadas de quinagem/dobragem e sistemas automáticos de corte e quinagem/ dobragem de chapa. Além disso fornece também soluções completas para a indústria de processamento de chapa de aço, inox, alumínio, latão, etc.

3.1.1 Representação e evolução

A empresa Adira foi fundada em 1956 por António Dias Ramos. Começou por fabricar pequenos tornos, fresadoras e máquinas de aplainar. Evoluiu depois para o fabrico de máquinas para o trabalho em chapa, destacando-se alguns momentos marcantes como são exemplo a primeira guilhotina mecânica (1961) e a primeira quinadora hidráulica (1964) fabricadas em Portugal. Desenvolvimento e aperfeiçoamento tecnológico das máquinas sob os quadrantes mecânico, hidráulico, elétrico e eletrónico. Entre os anos 80 e 90, graças ao

desenvolvimento tecnológico, surgiram os projetos assistidos por computador e certificação de segurança CE. Projetos de investimento em inovação e modernização: equipamento de alta tecnologia, renovação de *layouts*, nova organização interna. No novo milénio a empresa lança no mercado as máquinas de corte por Laser, robots e automatismos e consolida a presença internacional. Nos últimos anos, continua a sua aposta firme na inovação, adaptando-se às novas realidades do mercado global, expandindo fortemente as suas atividades nos mercados emergentes, enquanto consolida a sua presença nos mercados tradicionais [11].

3.1.2 Situação atual

Atualmente a empresa é o maior fabricante ibérico de máquinas para trabalhar chapa, tendo acumulado, ao longo de mais de 50 anos, uma vasta experiência na concepção, produção e comercialização de máquinas-ferramentas e de sistemas de conformação e manipulação de chapa.

A posição internacional da marca Adira, apresentada na Figura 3.1, baseia-se na alta confiabilidade e modernidade dos seus equipamentos, que utilizam novas tecnologias como o laser, eletrônica, automação e robótica aplicadas às tecnologias tradicionais. A empresa exporta mais de 70% da sua produção para mercados tão sofisticados como os E.U.A., Reino Unido, França, Suécia e tão distantes como a Tailândia e a Austrália.

O constante investimento na pesquisa científica e no desenvolvimento tecnológico permite à empresa apresentar cada vez melhores soluções aos seus clientes: a cooperação com universidades e importantes laboratórios de pesquisa é uma componente fundamental do seu empenho na qualidade, precisão e fiabilidade das soluções, na sua integração nos processos produtivos e na sua máxima performance [12].



Figura 3.1- Empresa Adira, responsável por acolher este projeto

3.1.3 Projeto mudança de instalações

Apesar da boa posição nos mercados onde atua, a empresa tem que se adaptar à situação de crise financeira que se abateu sobre a Europa atualmente, e como tal reagiu de uma forma ativa às adversidades. Ao invés de esperar por tempos mais favoráveis a empresa tomou a decisão de investir e mudar de instalações aproveitando para aumentar os índices de produtividade, usufruindo da mudança para modernizar e melhorar também as valências dos seus trabalhadores. É graças a esta mudança que surge o âmbito desta dissertação, cujo principal objetivo, como já referido, é projetar um novo sistema de produção para a linha de quinadoras apoiando-se num AGV para a realização do transporte de materiais, sistema esse que deve ser capaz de corresponder tais mudanças, ao objetivo de aumentar a produção de acordo com o desejado. Neste momento, a empresa é capaz de produzir em média uma quinadora por semana, e o objetivo é melhorar esse rácio para uma quinadora por dia. Para tal foi necessário proceder a uma análise a todos os materiais e movimentos que envolvem a produção destas máquinas, juntamente com a idealização de um novo *layout*, sem esquecer a introdução do AGV no processo de produção. A harmonia entre estes diversos elementos é que vai ditar o cumprimento ou não dos objetivos propostos. A análise ao funcionamento do sistema, aos materiais transportados, ao *layout* e às operações do AGV é apresentada nos tópicos seguintes.

3.2 Novo sistema de produção

Nos próximos parágrafos será dado a conhecer o sistema de produção de quinadoras e restantes intervenientes na unidade fabril da empresa, cujo objetivo é a produção de uma quinadora por dia, o que representa uma produção 6 vezes superior à atual.

Neste sistema de produção podem ser identificados dois pontos chaves: o AGV, responsável pelo transporte dos diversos componentes, e os locais cruciais por onde vai passando o próprio AGV que servem para processar/armazenar o material que vai sendo transportado. Antes da análise ao novo sistema serão identificados os problemas do sistema atual, por forma a evitar a repetição desses problemas no novo sistema de produção.

3.2.1 Problemas atuais

Através de uma análise aos diversos pontos do sistema de produção atual, foram sendo identificados alguns problemas que comprometiam o bom funcionamento do sistema, e que consequentemente, se traduziam em níveis de eficiência baixos impossibilitando bons resultados de produção. De entre os problemas detetados, destacam-se os seguintes:

- Falta de material no posto de trabalho;
- Desorganização no posto de trabalho;
- *Layout* inadequado;
- Inexistência de fluxo contínuo.

Tendo em conta estes problemas, procedeu-se à construção do novo sistema de produção.

3.2.2 Locais de troca

Os locais chave por onde o AGV vai passar são os seguintes: Armazém, Zona de pré montagem mecânica (PMM), Zona pré montagem hidráulica (PMH), Zona de customização e Linha de produção (LP).

Armazém

O armazém é o local onde o operador fará o *picking* do material para a estante, material esse, que estará relacionado com a ordem de produção que o operador receber. À medida que o *picking* vai sendo efetuado, o operador dará baixa do material no sistema através da leitura do código de barras correspondente a cada material. O armazém é um local que estará organizado por secções de material relativo à zona de destino da ordem de fabrico, ou seja, o material a ser utilizado na LP estará numa zona dentro do armazém. O material a ser utilizado na PMM estará numa outra zona dentro do armazém, e assim sucessivamente. Por sua vez cada uma dessas zonas terá uma local de expedição que vai permitir ao AGV pegar ou largar uma estante.

Dentro do armazém estará também um PC para receber e processar as ordens dadas pelo operador. Informações relativas à ordem de produção e ao destino das estantes que se encontram no armazém são desta forma passadas para o AGV que se encarregará posteriormente de transportar essas mesmas estantes para os respetivos destinos.

Linha de produção (LP)

A linha de produção de quinadoras é o local onde os diversos componentes, oriundos quer do armazém quer das zonas de pré montagem, vão ser acoplados e processados. O resultado final do conjunto dos vários processos será uma nova quinadora. A LP vai conter espaços específicos, destinados às estantes que alimentam a linha com novos materiais, devidamente delineados para que o AGV saiba perfeitamente onde deve abastecer os postos.

Dado que eventualmente, o material a ser utilizado nos dois primeiros postos da linha cabe numa estante, existirá um espaço entre os dois postos onde a estante será colocada por forma a ambos os operadores recolherem o respetivo material da mesma pallet. Outra novidade nesta zona prende-se com a necessidade de transmitir ao AGV a informação que uma determinada estante está vazia e pronta para ser transportada de volta para o armazém libertando desta forma espaço nos postos da linha para a entrada de uma nova estante com novo material. Para tal, cada estante terá uma identificação visual, por exemplo um cartão de uma determinada cor, que permitirá que o AGV, durante as viagens que vai realizando, efetue uma leitura das estantes, e cada vez que essa leitura acuse a cor de uma estante vazia, essa informação é passada para um PC que de acordo com a disponibilidade do AGV, manda este recolher a estante.

Por último, é importante referir que existe a intenção de fazer avançar a produção um dia por cada posto da LP. Como tal, é necessário redistribuir as operações a serem efetuadas pelo número de postos que surgirão nos *layouts*.

Zona de Customização (ZC)

De acordo com o pedido dos clientes, as máquinas que saem da linha de produção são posteriormente enviadas para a zona de customização. Aqui ser-lhes-ão adicionados todos os extras que respondem às exigências impostas pelos clientes. Nesta zona, tal como na linha de produção, existem espaços específicos, destinados às estantes provenientes do armazém que

alimentam os postos com novos materiais, devidamente delineados para que o AGV saiba perfeitamente onde deve abastecer os mesmos.

Nesta zona, cada quinadora não avança de posto para posto como acontece na linha de produção. A partir do momento em que uma quinadora entra num posto, ficará lá o número de dias necessários para realizar todas as operações de customização, independentemente do facto de tais operações demorarem 2 ou 5 dias a serem realizadas.

Este “modus operandi” parece desvirtuar a ideia de que será produzida uma quinadora por dia. Afinal, se uma quinadora está 2 dias a customizar e outra 4 dias, têm de existir dias em que nenhuma será finalizada e enviada para o cliente. Na realidade, em termos literais, devia ser dito que será produzida em média, uma quinadora por dia, pois existirão dias sem quinadoras produzidas e enviadas a clientes, e outros dias que, serão enviadas por exemplo, 2 ou 3 quinadoras. De facto, esse é o objetivo a que este sistema de produção se compromete.

Zona de pré montagem Hidráulica (PMH)

Na zona de pré montagem hidráulica são efetuadas operações sobre materiais que após estarem terminados, vão ser acoplados a outros componentes numa outra zona, linha de produção. O transporte dos materiais pré montados para a LP não é efetuado pelo AGV. O AGV servirá apenas para abastecimento e não para transporte de peças maquinadas.

Tal como na linha de produção, vão existir espaços específicos para a recepção de estantes vindas do armazém, transportadas pelo AGV.

Zona de pré montagem Mecânica (PMM)

A zona de pré montagem mecânica é idêntica à hidráulica. A principal diferença é a seguinte: a zona de pré montagem mecânica vai alimentar a zona de customização, enquanto que na zona de pré montagem hidráulica os componentes pré montados irão apenas para a LP, ou seja, na zona de customização das quinadoras entrarão componentes desta zona.

3.2.3 Especificações do sistema

A cada ordem de fabrico que entra no armazém, vem associada informação sobre a máquina que se deseja produzir e data de expedição para o cliente.

Uma vez que cada máquina é no fundo um conjunto de operações de processamento de materiais efetuados quer na linha de produção quer nas zonas de pré montagem, cada ordem de fabrico de uma máquina vai despoletar uma série de movimentos por forma a fazer chegar os componentes a essas diferentes zonas.

Contudo, esses movimentos não são executados sequencialmente, porque graças à existência de zonas de pré montagem existem componentes que devem ser produzidos previamente.

Por exemplo, uma máquina que entra na linha de produção para ser fabricada precisará no primeiro dia de trabalhos de 3 componentes que vêm diretamente do armazém, 1 componente que vem da zona de pré montagem mecânica e 1 componente da zona de pré montagem hidráulica. Isto implica que antes do primeiro dia de trabalhos na linha de produção, já foram dadas duas subordens de fabrico num dia ou hora anteriores, conforme o tempo de produção dessas peças pré montadas, por forma a garantir que no primeiro dia de

trabalho na linha, todos os componentes a ser utilizados nesse dia, 3+1+1, estarão disponíveis no posto de trabalho.

3.2.4 Encomenda

Neste tópico será descrito todo o processo de uma encomenda, desde do pedido até ao produto final.

Qualquer encomenda tem início com um pedido efetuado pelo cliente. Nesse pedido, são transmitidas as especificações do produto pretendido de acordo com o desejo do cliente. Uma vez efetuada a recepção desse pedido desencadeiam-se vários processos internos na empresa.

Os dois primeiros processos a serem verificados são: disponibilidade em produzir e disponibilidade de material. Facilmente se percebe que só é possível produzir, se existirem postos livres para executar essa produção, tal como, só é possível produzir se existir material disponível para o efeito. Estes são processos delicados, uma vez que são assentes em previsões, ou seja, é suposto por exemplo o material para uma determinada operação que acontece na tarde do 2º dia de produção chegar na manhã desse mesmo dia, ora quando se inicia o processo de produção, 1º dia, o material não se encontra na empresa, mas é suposto que esteja disponível no 2º dia, quando irá ser necessário. Se tal não acontecer, garantidamente existirão atrasos na produção, o que implica desde logo prejuízo para a empresa. Tais consequências surgem também no processo de disponibilidade de postos para produzir.

Este tipo de problemas está negociado e acordado entre a empresa e os respetivos fornecedores, de forma a defender os seus interesses e prevenir possíveis prejuízos provocados por terceiros.

No armazém, o operador dá início ao *picking* do material que responde às necessidades do pedido efetuado. O *picking* será efetuado diretamente para as estantes transportadas pelo AGV. Como já foi referido, do armazém é proveniente o abastecimento quer para a linha de produção quer para as pré montagens assim como para a zona de customização. Este abastecimento é feito com base na prioridade dos processos e na disponibilidade do próprio AGV. Embora o transporte de estantes seja um processo em série, uma vez que só pode ser transportada uma estante de cada vez, os vários processos de produção vão decorrendo de forma paralela e assíncrona conforme o plano operacional, baseado em tempos e frequências das operações, previamente elaborado pela empresa. A existência de zonas de pré montagem implica isso mesmo, pois os componentes provenientes desta zona serão utilizados na linha produção, ou seja, serão forçosamente produzidos primeiro.

Terminada a produção da nova máquina, saída da linha de produção, é altura para personalizar a máquina na zona de customização de acordo com as especificações do cliente.

O resultado da customização é o produto final, que depois de devidamente fitado e embalado, está pronto para ser expedido para o cliente, finalizando assim o “ciclo” de uma encomenda.

Por último, é importante referir que não será apenas processada uma encomenda de cada vez, mas sim várias, aumentando a complexidade de todo o processo e a importância do processo de escalonamento dos movimentos do AGV, que se traduz no comportamento do mesmo durante as diferentes viagens e consequentes abastecimentos.

3.2.5 Estantes vazias

Como já foi referido neste documento, o movimento de materiais vai ser efetuado por um AGV que transportará consigo uma estante com os componentes a ser utilizados no local de destino desses movimentos, estante essa que o AGV deixa no destino e só a recolhe quando fica vazia. Uma vez consumidos todos componentes da estante, esta ficará disponível para ser transportada para o armazém por forma a ser utilizada novamente.

O transporte de estantes vazias está pensado da seguinte forma:

- Numa primeira fase, se no movimento de regresso do AGV ao armazém, existir um local com uma estante vazia, o AGV aproveita o facto de estar a realizar um movimento em vazio de regresso ao armazém, para transportar essa estante;
- Numa segunda fase, tentar-se-á otimizar a relação entre o tempo gasto pelo AGV na desaceleração, carga e aceleração, e a distância que lhe falta percorrer até ao armazém por forma a iniciar um novo movimento.

3.2.6 Prioridades

Da complexidade do sistema, proveniente entre outras coisas, das datas de expedição, das zonas de pré montagem, das estantes cheias e vazias, etc, surge a necessidade de atribuir prioridades entre os diversos movimentos. No exemplo do ponto 3.2.3 que impunha a utilização de peças pré montadas na produção de uma máquina, a noção de prioridade fica bem patente. Nesse exemplo, são mais prioritários os movimentos para as pré montagens que o movimento para a linha. A data de entrega das máquinas estipula uma primeira prioridade entre os movimentos. Facilmente se conclui que quanto mais próximos estivermos da data de expedição da máquina para o cliente, mais prioritários se tornam os movimentos associados a essa máquina.

Por outro lado, numa visão mais próxima do chão de fábrica, vão surgindo outras prioridades que se intercalam com a prioridade da data de expedição. Uma delas é a prioridade associada ao movimento de uma peça que está em falta, devido por exemplo ao atraso do fornecedor. O movimento associado a essa peça ganha automaticamente prioridade a quase todos os outros movimentos, uma vez que sem aquela peça a produção fica paralisada e os atrasos aumentam.

A existência de estantes vazias, origina ainda duas prioridades distintas a ter em conta. A primeira está relacionada com o preenchimento total dos espaços no posto de trabalho. Se existir um movimento programado para um posto de trabalho com todos os espaços ocupados, em que pelo menos num desses espaços está uma estante vazia, torna-se obrigatório e prioritário efetuar um movimento que retire a estante vazia do posto para que o material da estante cheia possa se movimentar e abastecer o mesmo, permitindo desta forma que a produção prossiga. A segunda prioridade relacionada com estantes vazias, mas menos provável de acontecer, está relacionada com o facto de num determinado momento não existirem estantes vazias disponíveis para transportar o material, estando essas estantes nos postos de trabalho à espera de serem transportadas de volta ao armazém. Neste caso torna-se portanto prioritário trazer as estantes vazias para o armazém.

3.2.7 Materiais a transportar

Para a obtenção de uma melhor percepção dos tipos de materiais que podem ser transportados pelo AGV, foi efetuado um levantamento de todos os materiais que são utilizados no processo de produção, organizando-os numa tabela. Um excerto dessa tabela pode ser visto em seguida:

Tabela 3.1 - Tabela de materiais a ser transportados

MODELO	TIPO	FASE	NIVEL	ARTIGO	DESIGNACAO	QT
PA0135/1	STD	FASE 1	..3	120207008	ANILHA MOLA M8 DIN127 AÇO ZNB	4
PA0135/1	STD	FASE 1	..3	120207006	ANILHA MOLA M6 DIN127 AÇO ZNB	8
PA0135/1	STD	FASE 1	.2	QU9-0200-00-0009	MONT. CIRCUITO HIDRAULICO COMU	1
PA0135/1	STD	FASE 1	..3	181705043	JOELHO ORIENTAVEL DSVW 16 SR	2
PA0135/1	STD	FASE 1	..3	180302016	ABRAÇADEIRA STAUFF D16	4
PA0135/1	STD	FASE 1	..3	181735021	JOELHO W 16 S	2
PA0135/1	STD	FASE 1	..3	180317010	BUJÃO VSTI G1/4"	1
PA0135/1	STD	FASE 1	..3	120807161	PARAF CIL SXT INT M14x35 DIN91	16
PA0135/1	STD	FASE 1	..3	120807059	PARAF CIL SXT INT M6x35 DIN912	8
PA0135/1	STD	FASE 1	..3	180711010	MANÓMETRO D63 REF.1456-086-006	1
PA0135/1	STD	FASE 1	..3	181725005	JUNÇÃO P/ MANÓMETRO MAV 6 LR	1
PA0135/1	STD	FASE 1	..3	210302006	SILENCIADOR 1/8"-1 827 000 000	2
PA0135/1	STD	FASE 1	..3	260404016	VD "Walterscheid" WF-WD 16 S V	8
PA0135/1	STD	FASE 1	..3	181705010	JOELHO ORIENTAVEL DSVW 6 SR	1
PA0135/1	STD	FASE 1	..3	XQ-07220	CHAPA	4
PA0135/1	STD	FASE 1	.2	QU1-0253-00-0002	MONTAGEM DOS MICROS DE SEGURAN	1
PA0135/1	STD	FASE 1	..3	QU1-0253-00-0004	SUPORTE DOS MICROS	1
PA0135/1	STD	FASE 1	..3	QU2-0253-00-0005	RÉGUA DOS MICROS	1
PA0135/1	STD	FASE 1	..3	XQ-20619	FIXADOR DO MICRO	2
PA0135/1	STD	FASE 1	..3	XQ-20621	BATENTE DO MICRO	1
PA0135/1	STD	FASE 1	..3	170206064	MICR.INTERRUP. PIZZATO MS20	3
PA0135/1	STD	FASE 1	..3	120807054	PARAF CIL SXT INT M6x12 DIN912	8
PA0135/1	STD	FASE 1	..3	120501006	FEMEA M6-8 DIN934	2
PA0135/1	STD	FASE 1	..3	120501008	FEMEA M8-8 DIN934	2
PA0135/1	STD	FASE 1	..3	120804026	(PCSE) PARAF. DIN933-8.8-M8x25	2
PA0135/1	STD	FASE 1	..3	171109071	PROTECCAO APB-PG	3
PA0135/1	STD	FASE 1	..3	120809017	(PSICE)PARAF. DIN7991-10.9-M4x	2
PA0135/1	STD	FASE 1	..3	120501004	FEMEA M4-8 DIN934	2
PA0135/1	STD	FASE 1	..3	XQ-20620	FIXADOR DO MICRO	1
PA0135/1	STD	FASE 1	..3	120202042	ANILHA M5 NORD-LOK AÇO ZNA	4
PA0135/1	STD	FASE 1	..3	120807035	PARAF CIL SXT INT M5x12 DIN912	4

Na Tabela 3.1 podemos ver que existe uma primeira coluna que indica o modelo de máquina no qual é utilizado o material e uma segunda que nos diz que o material é do tipo *Standard*, ou seja, é utilizado em todas as quinadoras que são produzidas. Se na segunda coluna surgisse o termo EXT ou OPC significava que aquele material era do tipo extra ou opcional, ou seja, só é colocado nas quinadoras caso o cliente assim o deseje. Na terceira coluna é identificada a fase na qual é utilizado o material. Por uma questão de simplicidade ao nível da comunicação entre os diversos colaboradores do projeto, a linha de produção foi designada como sendo a fase 1, a zona de customização foi designada como sendo a fase 2 e as zonas de pré montagens como PMs.

Na coluna seguinte está indicado o nível do material, cujo significado é o seguinte: um material .3 é um material que juntamente com outros materiais .3 formam o material do tipo .2, o material .2 é um material que juntamente com outros materiais .2 formam o material

do tipo .1, ou seja, de acordo com a Tabela 3.1 o material com a designação MONT. CIRCUITO HIDRAULICO COMU do nível .2 é constituído pelos 12 materiais seguintes de nível .3.

A quinta e sexta colunas, correspondem respetivamente à referência e ao nome atribuídos a cada material. Por fim temos a sétima coluna denominada QT que indica a quantidade necessária de cada material.

Paralelamente ao levantamento registado na Tabela 3.1, foram identificados e documentados na tabela seguinte, os materiais de maiores dimensões, que implicavam por si só uma ou mais viagens do AGV, desde o armazém até ao respetivo posto:

Tabela 3.2 - Tabela de materiais de maiores dimensões

Materiais	Nº de Movimentos do AGV
Grupo energético	1
Cilindros	2
Quadro elétrico	1
Pendural + Mangueiras	1
Guardas Laterais	2
Suportes	1
Blindagens	3
Punções e Intermediários	1

Em relação aos restantes materiais, podem ser divididos em dois grupos: os genéricos, que são os materiais de dimensões bastante reduzidas que facilmente se distribuem por uma pallet, e os não transportáveis pelo AGV, que são os materiais com dimensões ou peso que ultrapassam a capacidade de transporte do AGV.

3.2.8 AGV

Como já foi referido, o AGV fará o transporte de material entre diversos pontos. O modelo do AGV a ser utilizado, tendo por base os diversos tópicos abordados nas secções anteriores, é idêntico ao que pode ser visto na Figura 3.2.



Figura 3.2- Exemplo do AGV a ser utilizado no transporte de materiais

Características

O AGV vai transportar consigo uma estante com rodas. O material por sua vez vai estar organizado dentro de uma pallet que se encontra nessa mesma estante. O AGV entrará por baixo da estante, fixar-se-á a ela através de um pino levantado que encaixa na estante, ficando desta forma pronto a iniciar o transporte.

Durante o transporte, vão ser atravessados diferentes tipos de chão pelo que, o AGV, foi projetado para ter a capacidade de ultrapassar essas irregularidades no chão, como por exemplo carris.

Sempre que o AGV chega ao destino, deixará ficar a estante que está a transportar e ficará livre para transportar uma nova estante. Este tipo de funcionamento vai garantir que o AGV funciona sem esperas, ou seja, não dependerá que o operador lhe dê autorização para prosseguir com a tarefas seguintes, o que poderia por um lado causar atrasos consideráveis na produção, e por outro desvirtuar a ideia da utilização de um veículo guiado autonomamente.

Em relação às características físicas do AGV temos que:

- Comprimento de aproximadamente 1 metro;
- Consegue transportar até 500kg de carga (estante+pallet+material);
- Desloca-se a uma velocidade que varia entre 0,8 e 0,4 m/s conforme os obstáculos que vão sendo ultrapassados.

Movimentos

Por dia, existe um número de movimentos que o AGV irá efetuar, por forma a abastecer os vários postos de trabalho. De referir que para cada movimento indicado a seguir existirá um idêntico no sentido inverso, por forma a levar de volta as estantes vazias para o armazém. Os movimentos identificados são 24 no total, subdivididos da seguinte forma:

- Armazém - PM Hidráulica - 2 abastecimentos;
- Armazém - PM Mecânica - 2 abastecimentos;
- Armazém - Linha de produção - 11 abastecimentos;
- Armazém - Zona de customização - 9 abastecimentos.

3.3 Configurações de *layouts*

O *layout* estabelece a relação física entre as várias atividades. Através do estudo e evolução do mesmo, pretende-se organizar da melhor forma a disposição do espaço. **Erro! A origem da referência não foi encontrada.**, tendo em conta alguns objetivos:

- Minimizar investimento em equipamentos;
- Minimizar tempo de produção;
- Utilizar espaço da forma mais eficiente possível;
- Providenciar ao operador um posto de trabalho seguro e confortável;
- Flexibilidade nas operações;
- Diminuir custo de tratamento do material;
- Melhorar processo de produção;
- Melhorar estrutura da empresa.

Tendo como base esses princípios foram identificados ao longo do projeto, 3 *layouts* passíveis de corresponder às necessidades da empresa. Para cada um foi efetuada uma análise com o objetivo de avaliar o desempenho dos intervenientes no processo de produção. Com base nos resultados da análise será escolhido o *layout* que melhor se adequa às necessidades da empresa, relativamente à produção de quinadoras.

O processo de desenvolvimento do *layout* é naturalmente demorado devido aos objetivos que se pretendem obter. No caso particular deste trabalho, esse desenvolvimento foi ainda mais complicado, uma vez que o *layout* da zona referente à produção das quinadoras está inserido no *layout* geral da fábrica que inclui, produção de guilhotinas, zonas de pintura, zonas de secagem, entre outros setores.

Como tal foi necessária uma constante colaboração com os diversos intervenientes, por forma a atingir uma boa solução.

Ao longo do processo de desenvolvimento acabaram por surgir 3 *layouts* distintos, que foram sujeitos a análise de desempenho por forma a verificar a viabilidade dos mesmos, e consequente cumprimento dos objetivos que foram propostos. Por cada *layout* foi feito um estudo para o caso melhor, o caso pior e o médio caso.

A análise desses 3 *layouts* pode ser vista nos parágrafos seguintes.

3.4.1 Primeira configuração

Organização

O primeiro *layout* desenvolvido pode ser visto na figura a seguir:

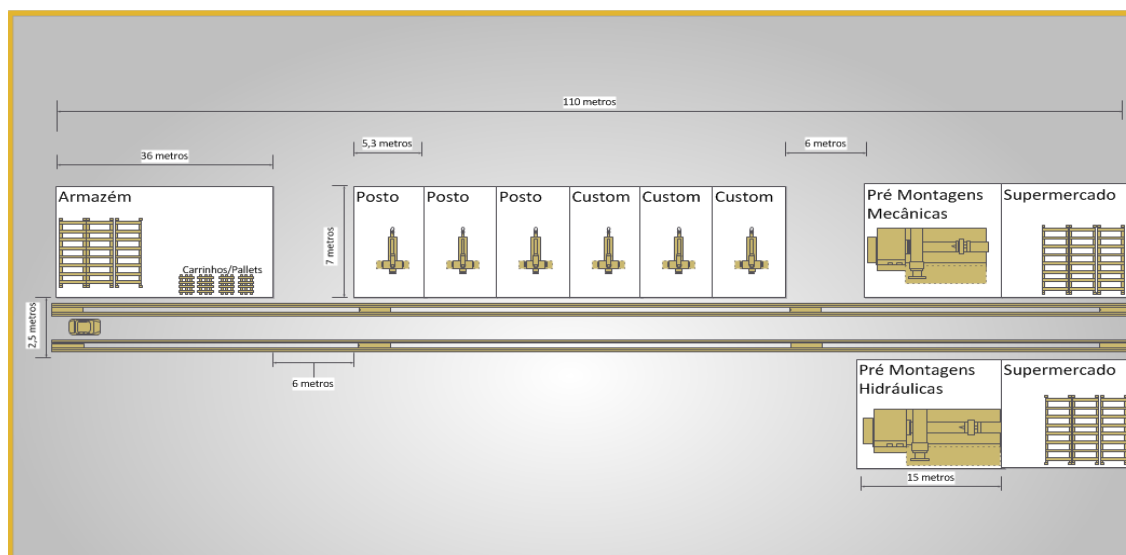


Figura 3.3- Primeiro layout desenvolvido

Este layout tem um único corredor onde o AGV vai operar. Ao longo desse corredor estão dispostos os diversos intervenientes do processo de produção. Do lado esquerdo está o armazém de onde vão sair todos os materiais a serem utilizados. Existe ainda um corredor com cerca de 6 metros de largura que o AGV terá que atravessar, e em seguida surgem os postos de trabalho. Os 3 primeiros são postos que pertencem à LP e os 3 últimos fazem parte da ZC. Entre as zonas de pré montagens e os postos existe novamente mais um corredor, e por último os supermercados que servem de auxílio às zonas de pré montagens. Sempre que uma peça pré montada estiver concluída é no supermercado é colocada.

Análise do melhor caso

Para a análise do melhor caso, foi escolhido o posto de customização número 1, como sendo aquele que apresentava uma distância mais curta em relação ao total dos postos de customização. A velocidade de movimentação na melhor das hipóteses é de 0,8 m/s e os tempos de carga e descarga das estantes são de 25 e 20 segundos respetivamente.

Tabela 3.3 - Performance do AGV a uma velocidade de 0,8 m/s

Posto	PM Mecânica	PM Hidráulica	Posto 1	Posto 2	Posto 3	Custom 1	Custom 2	Custom 3	Total
Distância (em m)	62,50	62,50	18,00	23,33	28,66	33,99	39,32	44,65	312,95
Velocidade (m/seg)	0,80	0,80	0,80	0,80	0,80	0,80	0,80	0,80	-
Tempo Movimento (em seg)	78,13	78,13	22,50	29,16	35,83	42,49	49,15	55,81	-
Número de Movimentos	8,00	8,00	32,00	8,00	4,00	36,00	0,00	0,00	96,00
Tempo de Carga (em seg)	25,00	25,00	25,00	25,00	25,00	25,00	25,00	25,00	-
Tempo de Descarga (em seg)	20,00	20,00	20,00	20,00	20,00	20,00	20,00	20,00	-
Tempo Total (em seg)	985,00	985,00	2160,00	593,30	323,30	3149,55	0,00	0,00	8196,15

Na Tabela 3.3 estão registados os resultados relativos às distâncias e aos tempos que o AGV efetua entre o armazém e os respetivos postos, bem como a velocidade a que este se descola e o número de movimentos que faz. O tempo de movimento é obtido através do

quociente entre a distância e a velocidade. O tempo total para cada posto é obtido através do produto entre o somatório dos tempos de movimento, carga e descarga, e o número de movimentos. No tópico 3.2.8 deste documento está indicado, por exemplo, que o AGV devia efetuar 2 abastecimentos para a zona de pré montagem mecânica porém, na Tabela 3.3 estão indicados 8 movimentos. Em concreto, o número de movimentos é igual ao número de abastecimentos multiplicado por um fator 4, que corresponde ao facto de, por cada movimento de ida existir um de volta e por cada movimento de ida e volta para transportar uma estante cheia, o AGV terá que efetuar um movimento de ida e volta para levar a estante vazia para o armazém.

Horas de trabalho			
8,00			
Tempo Total (em horas)			
2,28		Procura Máxima	Procura Nominal
Velocidade (m/s)	Nº Máquinas Dia (Objetivo)	2,00	1,20
0,80	Tempo Abastecimento/Máquina	2,28	2,28
Tamanho Posto (m)	Tempo Ocupação AGV	4,55	2,73
5,33	Tempo de Margem	3,45	5,27
Tempo de Carga AGV (s)	Percentagem de ocupação	56,92%	34,15%
25,00			
Tempo de Descarga AGV (s)			
20,00			

Figura 3.4- Dados do problema e resultados para uma velocidade de 0,8 m/s

Na Figura 3.4 estão representados do lado esquerdo os parâmetros utilizados nesta análise e do lado direito os resultados obtidos. É possível constatar que quer para a situação de procura máxima, quer para a de procura nominal, o AGV consegue cumprir todos os movimentos tendo uma taxa de ocupação, num caso de cerca de 57% e no outro de 34%.

Análise do caso médio

Para a análise do caso médio, foi escolhido o posto de customização número 2, sendo aquele que apresentava uma distância média em relação ao total dos postos de customização. A velocidade de movimentação em média é de 0,6 m/s, mais baixa que o melhor, uma vez que pressupõe o aparecimento alguns obstáculos ao longo do percurso.

Tabela 3.4 - Performance do AGV a uma velocidade de 0,6 m/s

Posto	PM Mecânica	PM Hidráulica	Posto 1	Posto 2	Posto 3	Custom 1	Custom 2	Custom 3	Totais
Distância (em metros)	62,50	62,50	18,00	23,33	28,66	33,99	39,32	44,65	-
Velocidade (m/s)	0,6	0,6	0,6	0,6	0,6	0,6	0,6	0,6	-
Tempo Movimento (em segundos)	104,2	104,2	30,0	38,9	47,8	56,7	65,5	74,4	-
Número de Movimentos	8	8	32	8	4	0	36	0	96
Tempo de Carga (em segundos)	25	25	25	25	25	25	25	25	-
Tempo de Descarga (em segundos)	20	20	20	20	20	20	20	20	-
Tempo Total (em segundos)	1193,3	1193,3	2400,0	671,1	371,1	0,0	3979,2	0,0	9808,0

Tal como no exemplo do melhor caso, na Tabela 3.4 estão registados os resultados relativos às distâncias e aos tempos que o AGV efetua entre o armazém e os respetivos postos, bem como a velocidade a que este se descola e o número de movimentos que faz. O tempo total referente a todos os movimentos subiu de acordo com o esperado, passando de cerca de 8200 segundos no melhor caso para cerca dos 9800 segundos neste.

Horas de trabalho			
8,00			
Tempo Total (em horas)		Procura Máxima	Procura Nominal
2,72	Nº Máquinas Dia (Objetivo)	2,00	1,20
Velocidade (m/s)	Tempo Abastecimento/Máquina (Horas)	2,72	2,72
0,60	Tempo Ocupação AGV	5,45	3,27
Tamanho Posto (m)	Tempo de Margem	2,55	4,73
5,33	Percentagem de ocupação	68,11%	40,87%
Tempo de Carga AGV (s)			
25,00			
Tempo de Descarga AGV (s)			
20,00			

Figura 3.5- Dados do problema e resultados para uma velocidade de 0,6 m/s

Na Figura 3.5 estão representados do lado esquerdo os parâmetros utilizados nesta análise e do lado direito os resultados obtidos. É possível constatar que quer para a situação de procura máxima, quer para a de procura nominal, o AGV consegue cumprir todos os movimentos tendo uma taxa de ocupação num caso de cerca de 68% e no outro de 41% o que significa que o AGV está parado 32% do tempo em situação de procura máxima e 59% do tempo em situação de procura nominal.

Análise do pior caso

Para a análise do pior caso, foi escolhido o posto de customização número 3, sendo aquele que apresentava uma distância maior em relação ao total dos postos de customização. A velocidade de movimentação é de 0,4 m/s, uma vez que pressupõe o aparecimento de ainda mais obstáculos ao longo do percurso.

Tabela 3.5 - Performance do AGV a uma velocidade de 0,4 m/s

Posto	PM Mecânica	PM Hidráulica	Posto 1	Posto 2	Posto 3	Custom 1	Custom 2	Custom 3	Totais
Distância (em metros)	62,50	62,50	18,00	23,33	28,66	33,99	39,32	44,65	-
Velocidade (m/s)	0,40	0,40	0,40	0,40	0,40	0,40	0,40	0,40	-
Tempo Movimento (em segundos)	156,25	156,25	45,00	58,33	71,65	84,98	98,30	111,63	-
Número de Movimentos	8,00	8,00	32,00	8,00	4,00	0,00	0,00	36,00	96,00
Tempo de Carga (em segundos)	25,00	25,00	25,00	25,00	25,00	25,00	25,00	25,00	-
Tempo de Descarga (em segundos)	20,00	20,00	20,00	20,00	20,00	20,00	20,00	20,00	-
Tempo Total (em segundos)	1610,00	1610,00	2880,00	826,60	466,60	0,00	0,00	5638,50	13031,70

Tal como no exemplo dos casos anteriores, na Tabela 3.5 estão registados os resultados relativos às distâncias e aos tempos que o AGV efetua entre o armazém e os respetivos

postos, bem como a velocidade a que este se descola e o número de movimentos que faz. O tempo total referente a todos os movimentos subiu mais uma vez de acordo com o esperado, passando de cerca de 9800 segundos no caso médio para cerca dos 13000 segundos neste.

Horas de trabalho			
8,00			
Tempo Total (em horas)			
3,62		Procura Máxima	Procura Nominal
Velocidade (m/s)	Nº Máquinas Dia (Objetivo)	2,00	1,20
0,40	Tempo Abastecimento/Máquina (Horas)	3,62	3,62
Tamanho Posto (m)	Tempo Ocupação AGV	7,24	4,34
5,33	Tempo de Margem	0,76	3,66
Tempo de Carga AGV (s)	Percentagem de ocupação	90,50%	54,30%
25,00			
Tempo de Descarga AGV (s)			
20,00			

Figura 3.6- Dados do problema e resultados para uma velocidade de 0,4 m/s

Na Figura 3.6 estão mais uma vez representados do lado esquerdo os parâmetros utilizados nesta análise e do lado direito os resultados obtidos. É possível constatar que quer para a situação de procura máxima, quer para a de procura nominal, o AGV consegue cumprir todos os movimentos tendo uma taxa de ocupação num caso de cerca de 90% e no outro de 54%.

Viabilidade do *layout*

Restringindo a análise ao tempo de operação do AGV, tudo parecia indicar que era possível implementar este *layout* na fábrica. Este seria um *layout* ideal na medida que o número de postos era bastante reduzido, o que implicava menor número de trabalhadores e consequentemente menores custos. Infelizmente verificou-se que tal não seria possível. Tendo em conta o número reduzido de postos, este primeiro *layout* teve de ser descartado. A quantidade de operações a realizar nos postos da linha de produção implicaria que a máquina permanecesse no mesmo posto mais do que um dia, o que não permitiria a produção de uma quinadora por dia. Ou seja, se o objetivo é lançar pelo menos uma quinadora por dia, cada quinadora só pode estar, no limite, tantos dias na linha de produção quanto o número de postos.

Com este conceito em mente, partiu-se para o desenvolvimento do segundo *layout*, tendo sempre em conta uma solução mais realista.

3.4.2 Segunda configuração

Organização

O segundo *layout* desenvolvido pode ser visto na Figura 3.7 seguinte:

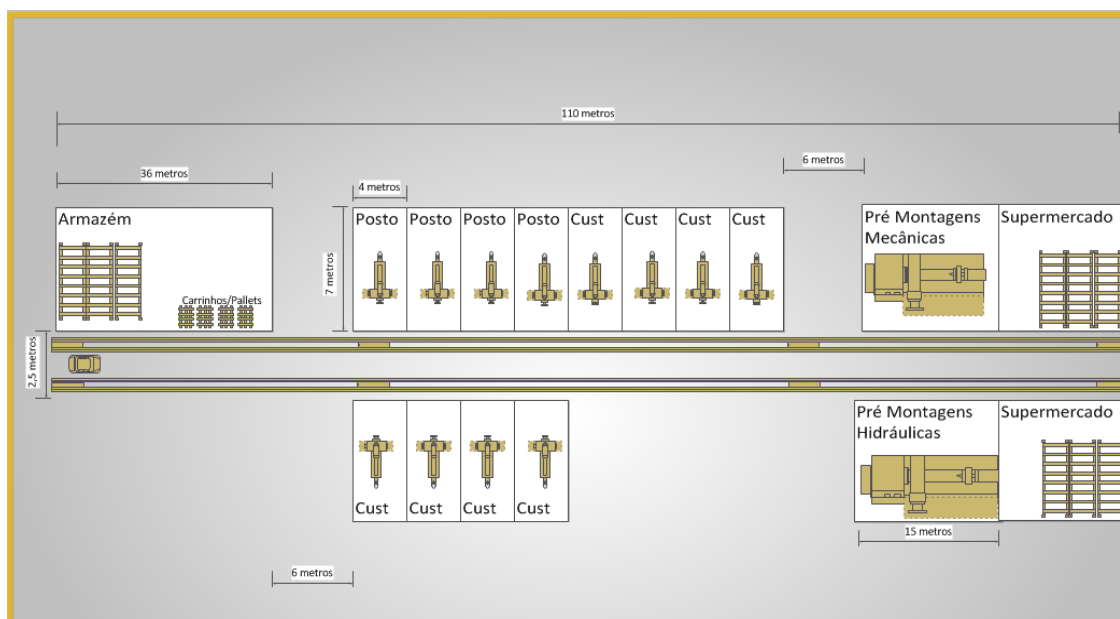


Figura 3.7- Segundo *layout* desenvolvido

Este *layout* é semelhante ao primeiro *layout* apresentado no tópico 3.4.1 deste documento. Tem um único corredor onde o AGV vai operar. Ao longo desse corredor estão dispostos os diversos intervenientes do processo de produção. A diferença deste *layout* para o anterior reside no número de postos de trabalho necessários para garantir a produção de uma quinadora por dia, objetivo esse que não era cumprido no *layout* anterior uma vez que o número de postos não era suficiente para a grande quantidade de operações que é necessário na produção de uma quinadora. Neste novo *layout* os postos seguem o seguinte alinhamento: os 4 primeiros postos da parte superior do *layout* são postos da linha de produção, os 4 postos seguintes são os 4 primeiros postos da zona de customização e os 4 postos na parte inferior do *layout* correspondem aos postos 5,6,7 e 8 de customização.

Análise do melhor caso

Para a análise do melhor caso, foi escolhido o posto de customização número 5, como sendo aquele que apresentava uma distância mais curta em relação ao total dos postos de customização. A velocidade de movimentação na melhor das hipóteses é de 0,8 m/s.

Tabela 3.6 - Performance do AGV a uma velocidade de 0,8 m/s

Posto	PM Mecânica	PM Hidráulica	Posto 1	Posto 2	Posto 3	Posto 4	Custom 1	Custom 2	Custom 3	Custom 4	Custom 5	Custom 6	Custom 7	Custom 8	Totais
Distância (em metros)	36,00	32,00	24,00	28,00	32,00	36,00	40,00	44,00	48,00	52,00	24,00	28,00	32,00	36,00	-
Velocidade (m/s)	0,80	0,80	0,80	0,80	0,80	0,80	0,80	0,80	0,80	0,80	0,80	0,80	0,80	0,80	-
Tempo Movimento (em segundos)	45,00	40,00	30,00	35,00	40,00	45,00	50,00	55,00	60,00	65,00	30,00	35,00	40,00	45,00	-
Número de Movimentos	8,00	8,00	24,00	8,00	8,00	4,00	0,00	0,00	0,00	0,00	36,00	0,00	0,00	0,00	96,00
Tempo de Carga (em segundos)	25,00	25,00	25,00	25,00	25,00	25,00	25,00	25,00	25,00	25,00	25,00	25,00	25,00	25,00	-
Tempo de Descarga (em segundos)	20,00	20,00	20,00	20,00	20,00	20,00	20,00	20,00	20,00	20,00	20,00	20,00	20,00	20,00	-
Tempo Total (em segundos)	720,00	680,00	1800,00	640,00	680,00	360,00	0,00	0,00	0,00	0,00	2700,00	0,00	0,00	0,00	7580,00

Na Tabela 3.6 estão registados os resultados relativos às distâncias e aos tempos que o AGV efetua entre o armazém e os respetivos postos, bem como a velocidade a que este se descola e o número de movimentos que faz. O tempo total referente a todos os movimentos foi cerca de 7600 segundos, valor inferior ao registado no *layout* 1, também para o melhor caso.

Horas de trabalho			
8,00			
Tempo total (em horas)			
2,11			
Velocidade (m/s)	Nº Máquinas Dia (Objetivo)	Procura máxima	Procura Nominal
0,80		2,00	1,20
Tamanho Posto (m)	Tempo Abastecimento/Máquina (Horas)	2,11	2,11
4,00	Tempo Ocupação AGV	4,21	2,53
Tempo de Carga AGV (s)	Tempo de Margem	3,79	5,47
25,00	Percentagem de ocupação	52,64%	31,58%
Tempo de Descarga AGV (s)			
20,00			

Figura 3.8- Dados do problema e resultados para uma velocidade de 0,8 m/s

Na Figura 3.8 estão representados do lado esquerdo os parâmetros utilizados nesta análise e do lado direito os resultados obtidos. É possível constatar que quer para a situação de procura máxima, quer para a de procura nominal, o AGV consegue cumprir todos os movimentos tendo uma taxa de ocupação num caso de cerca de 53% e no outro de 32%.

Análise do caso médio

Para a análise do caso médio, foi escolhido o posto de customização número 8, como sendo aquele que apresentava uma distância média em relação ao total dos postos de customização. A velocidade de movimentação em média é de 0,6 m/s e os tempos de carga e descarga das estantes são de 25 e 20 segundos respetivamente.

Tabela 3.7 - Performance do AGV a uma velocidade de 0,6 m/s

Posto	PM Mecânica	PM Hidráulica	Posto 1	Posto 2	Posto 3	Posto 4	Custom 1	Custom 2	Custom 3	Custom 4	Custom 5	Custom 6	Custom 7	Custom 8	Totais
Distância (em metros)	36,00	32,00	24,00	28,00	32,00	36,00	40,00	44,00	48,00	52,00	24,00	28,00	32,00	36,00	-
Velocidade (m/s)	0,60	0,60	0,60	0,60	0,60	0,60	0,60	0,60	0,60	0,60	0,60	0,60	0,60	0,60	-
Tempo Movimento (em segundos)	60,00	53,33	40,00	46,67	53,33	60,00	66,67	73,33	80,00	86,67	40,00	46,67	53,33	60,00	-
Número de Movimentos	8,00	8,00	24,00	8,00	8,00	4,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	36,00	96,00
Tempo de Carga (em segundos)	25,00	25,00	25,00	25,00	25,00	25,00	25,00	25,00	25,00	25,00	25,00	25,00	25,00	25,00	-
Tempo de Descarga (em segundos)	20,00	20,00	20,00	20,00	20,00	20,00	20,00	20,00	20,00	20,00	20,00	20,00	20,00	20,00	-
Tempo Total (em segundos)	840,00	786,67	2040,00	733,33	786,67	420,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	3780,00	9386,67

Na Tabela 3.7 estão registados mais uma vez os resultados relativos às distâncias e aos tempos que o AGV efetua entre o armazém e os respetivos postos, bem como a velocidade a que este se descola e o número de movimentos que faz. O tempo total referente a todos os

movimentos foi cerca de 9400 segundos, valor ligeiramente inferior ao registado no *layout* 1 também para o caso médio.

O tempo total referente a todos os movimentos subiu de acordo com o esperado, passando de cerca de 7600 segundos no melhor caso para cerca de 9400 segundos neste.

Horas de trabalho			
8,00			
Tempo total (em horas)			
2,61		Procura máxima	Procura Nominal
Velocidade (m/s)	Nº Máquinas Dia (Objetivo)	2,00	1,20
0,60	Tempo Abastecimento/Máquina (Horas)	2,61	2,61
Tamanho Posto (m)	Tempo Ocupação AGV	5,21	3,13
4,00	Tempo de Margem	2,79	4,87
Tempo de Carga AGV (s)	Percentagem de ocupação	65,19%	39,11%
25,00			
Tempo de Descarga AGV (s)			
20,00			

Figura 3.9- Dados do problema e resultados para uma velocidade de 0,6 m/s

Na Figura 3.9 estão representados do lado esquerdo os parâmetros utilizados nesta análise e do lado direito os resultados obtidos. É possível constatar que quer para a situação de procura máxima, quer para a de procura nominal, o AGV consegue cumprir todos os movimentos tendo uma taxa de ocupação num caso de cerca de 65% e no outro de 40%.

Análise do pior caso

Para a análise do pior caso, foi escolhido o posto de customização número 3, como sendo aquele que apresentava uma distância maior em relação ao total dos postos de customização. A velocidade de movimentação é de 0,4 m/s.

Tabela 3.8 - Performance do AGV a uma velocidade de 0,4 m/s

Posto	PM Mecânica	PM Hidráulica	Posto 1	Posto 2	Posto 3	Posto 4	Custom 1	Custom 2	Custom 3	Custom 4	Custom 5	Custom 6	Custom 7	Custom 8	Totais
Distância (em metros)	36,00	32,00	24,00	28,00	32,00	36,00	40,00	44,00	48,00	52,00	24,00	28,00	32,00	36,00	-
Velocidade (m/s)	0,40	0,40	0,40	0,40	0,40	0,40	0,40	0,40	0,40	0,40	0,40	0,40	0,40	0,40	-
Tempo Movimento (em segundos)	90,00	80,00	60,00	70,00	80,00	90,00	100,00	110,00	120,00	130,00	60,00	70,00	80,00	90,00	-
Número de Movimentos	8,00	8,00	24,00	8,00	8,00	4,00	0,00	0,00	0,00	36,00	0,00	0,00	0,00	0,00	96,00
Tempo de Carga (em segundos)	25,00	25,00	25,00	25,00	25,00	25,00	25,00	25,00	25,00	25,00	25,00	25,00	25,00	25,00	-
Tempo de Descarga (em segundos)	20,00	20,00	20,00	20,00	20,00	20,00	20,00	20,00	20,00	20,00	20,00	20,00	20,00	20,00	-
Tempo Total (em segundos)	1080,00	1000,00	2520,00	920,00	1000,00	540,00	0,00	0,00	0,00	6300,00	0,00	0,00	0,00	0,00	13360,00

Na Tabela 3.8 estão registados os resultados relativos às distâncias e aos tempos que o AGV efetua entre o armazém e os respetivos postos, bem como a velocidade a que este se descola e o número de movimentos que faz. O tempo total referente a todos os movimentos foi cerca de 13300 segundos, valor idêntico ao registado no *layout* 1 para o pior caso.

O tempo total referente a todos os movimentos subiu de acordo com o esperado, passando de cerca de 9400 segundos no caso médio para cerca dos 13300 segundos neste.

Horas de trabalho			
8,00			
Tempo total (em horas)			
3,71		Procura máxima	Procura Nominal
Velocidade (m/s)	Nº Máquinas Dia (Objetivo)	2,00	1,20
0,40	Tempo Abastecimento/Máquina (Horas)	3,71	3,71
Tamanho Posto (m)	Tempo Ocupação AGV	7,42	4,45
4,00	Tempo de Margem	0,58	3,55
Tempo de Carga AGV (s)	Percentagem de ocupação	92,78%	55,67%
25,00			
Tempo de Descarga AGV (s)			
20,00			

Figura 3.10- Dados do problema e resultados para uma velocidade de 0,4 m/s

Na Figura 3.10 estão mais uma vez representados do lado esquerdo os parâmetros utilizados nesta análise e do lado direito os resultados obtidos. É possível constatar que quer para a situação de procura máxima, quer para a de procura nominal, o AGV consegue cumprir todos os movimentos tendo uma taxa de ocupação num caso de cerca de 93% e no outro de 55% o que significa que o AGV está parado 7% do tempo em situação de procura máxima e 45% do tempo em situação de procura nominal.

Viabilidade do *layout*

Neste *layout*, o problema da quantidade de operações a realizar foi resolvido. Com a adição de mais um posto na linha de produção, garantiu-se que cada quinadora avançava um posto por dia, sendo que o cumprimento do objetivo da produção de uma quinadora por dia estaria para já garantido. Contudo outro problema surgiu. Tendo em conta que este *layout* representa apenas uma parte do *layout* total da empresa, foi detetado, no *layout* de outra parte da empresa, um problema semelhante ao ocorrido no tópico 3.4.1.

Infelizmente este *layout* era demasiado alongado e seria necessário condensa-lo de uma outra forma, de modo a permitir um funcionamento mais harmonioso entre todos os setores da empresa.

Partiu-se então, para o desenvolvimento do denominado terceiro *layout*, cuja performance foi analisada, e pode ser visualizada no tópico seguinte.

3.4.3 Terceira configuração

Organização

O terceiro *layout* desenvolvido pode ser visto na figura a seguir:

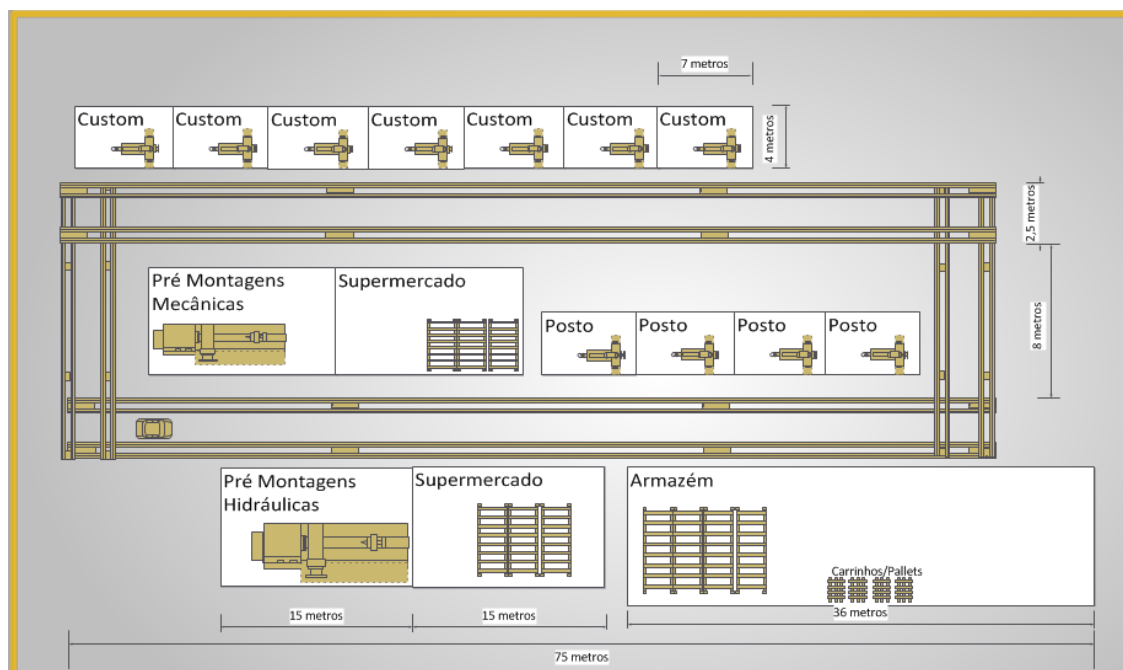


Figura 3.11- Terceiro layout desenvolvido

Este layout é consideravelmente diferente dos dois apresentados anteriormente. Os corredores por onde circula o AGV formam um retângulo. Tanto na parte exterior como na parte interior desse retângulo estão dispostos os diversos intervenientes do processo de produção. Os 4 postos de trabalho que, conforme se vê na Figura 3.11, se encontram na zona interior dos corredores correspondem aos postos da linha de produção. Os 7 postos da zona de customização encontram-se na parte superior do layout. Existiu uma redução nos postos de customização depois que se concluiu que 7 dias era o tempo máximo que uma máquina demoraria a estar customizada.

Análise do melhor caso

Para a análise do melhor caso, foi escolhido o posto de customização número 1, como sendo aquele que apresentava uma distância mais curta em relação ao total dos postos de customização. A velocidade de movimentação é de 0,8 m/s e os tempos de carga e descarga das estantes são de 25 e 20 segundos respetivamente.

Tabela 3.9 - Performance do AGV a uma velocidade de 0,8 m/s

Posto	PM Mecânica	PM Hidráulica	Posto 1	Posto 2	Posto 3	Posto 4	Custom 1	Custom 2	Custom 3	Custom 4	Custom 5	Custom 6	Custom 7	Totais
Distância (em metros)	50,00	42,50	7,00	14,10	21,20	28,30	28,50	35,60	42,70	49,80	56,90	64,00	71,10	-
Velocidade (m/s)	0,80	0,80	0,80	0,80	0,80	0,80	0,80	0,80	0,80	0,80	0,80	0,80	0,80	-
Tempo Movimento (em segundos)	62,50	53,13	8,75	17,63	26,50	35,38	35,63	44,50	53,38	62,25	71,13	80,00	88,88	-
Número de Movimentos	8,00	8,00	24,00	8,00	8,00	4,00	36,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	96,00
Tempo de Carga (em segundos)	25,00	25,00	25,00	25,00	25,00	25,00	25,00	25,00	25,00	25,00	25,00	25,00	25,00	-
Tempo de Descarga (em segundos)	20,00	20,00	20,00	20,00	20,00	20,00	20,00	20,00	20,00	20,00	20,00	20,00	20,00	-
Tempo Total (em segundos)	860,00	785,00	1290,00	501,00	572,00	321,50	2902,50	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	7232,00

Na Tabela 3.9 estão registados os resultados relativos às distâncias e aos tempos que o AGV efetua entre o armazém e os respetivos postos, bem como a velocidade a que este se descola e o número de movimentos que faz. O tempo total referente a todos os movimentos foi cerca de 7200 segundos, valor ligeiramente inferior ao registado no *layout* 2 também para o melhor caso.

Tempo de trabalho			
8,00			
Tempo total (em horas)			
2,01			
Velocidade (m/s)		Procura Máxima	Procura Nominal
0,80	Nº Máquinas Dia (Objetivo)	2,00	1,20
Tamanho Posto (m)	Tempo Abastecimento/Máquina (Horas)	2,01	2,01
7,10	Tempo Ocupação AGV	4,02	2,41
Tempo de Carga AGV (s)	Tempo de Margem	3,98	5,59
25,00	Percentagem de ocupação	50,22%	30,13%
Tempo de Descarga AGV (s)			
20,00			

Figura 3.12- Dados do problema e resultados para uma velocidade de 0,8 m/s

Na Figura 3.12 estão representados do lado esquerdo os parâmetros utilizados nesta análise e do lado direito os resultados obtidos. É possível constatar que quer para a situação de procura máxima, quer para a de procura nominal, o AGV consegue cumprir todos os movimentos tendo uma taxa de ocupação num caso de cerca de 50% e no outro de 30% o que significa que o AGV está sem nada para fazer 50% do tempo em situação de procura máxima e 70% do tempo em situação de procura nominal.

Análise do caso médio

Para a análise do caso médio, foi escolhido o posto de customização número 4, como sendo aquele que apresentava uma distância média em relação ao total dos postos de customização. A velocidade de movimentação em média é de 0,6 m/s.

Tabela 3.10 - Performance do AGV a uma velocidade de 0,6 m/s

Posto	PM Mecânica	PM Hidráulica	Posto 1	Posto 2	Posto 3	Posto 4	Custom 1	Custom 2	Custom 3	Custom 4	Custom 5	Custom 6	Custom 7	Totais
Distância (em metros)	50,00	42,50	7,00	14,10	21,20	28,30	28,50	35,60	42,70	49,80	56,90	64,00	71,10	-
Velocidade (m/s)	0,60	0,60	0,60	0,60	0,60	0,60	0,60	0,60	0,60	0,60	0,60	0,60	0,60	-
Tempo Movimento (em segundos)	83,33	70,83	11,67	23,50	35,33	47,17	47,50	59,33	71,17	83,00	94,83	106,67	118,50	-
Número de Movimentos	8,00	8,00	24,00	8,00	8,00	4,00	0,00	0,00	0,00	36,00	0,00	0,00	0,00	96,00
Tempo de Carga (em segundos)	25,00	25,00	25,00	25,00	25,00	25,00	25,00	25,00	25,00	25,00	25,00	25,00	25,00	-
Tempo de Descarga (em segundos)	20,00	20,00	20,00	20,00	20,00	20,00	20,00	20,00	20,00	20,00	20,00	20,00	20,00	-
Tempo Total (em segundos)	1026,67	926,67	1360,00	548,00	642,67	368,67	0,00	0,00	0,00	4608,00	0,00	0,00	0,00	9480,67

Na Tabela 3.10 estão registados mais uma vez os resultados relativos às distâncias e aos tempos que o AGV efetua entre o armazém e os respetivos postos, bem como a velocidade a

que este se descola e o número de movimentos que faz. O tempo total referente a todos os movimentos foi cerca de 9500 segundos, valor idêntico ao registado no *layout 2* também para o caso médio.

O tempo total referente a todos os movimentos subiu de acordo com o esperado, passando de cerca de 7200 segundos no melhor caso para cerca dos 9500 segundos neste.

Tempo de trabalho			
8,00			
Tempo total (em horas)			
2,63			
Velocidade (m/s)			
0,60			
Tamanho Posto (m)			
7,10			
Tempo de Carga AGV (s)			
25,00			
Tempo de Descarga AGV (s)			
20,00			
		Procura Máxima	Procura Nominal
Nº Máquinas Dia (Objetivo)	2,00	1,20	
Tempo Abastecimento/Máquina (Horas)	2,63	2,63	
Tempo Ocupação AGV	5,27	3,16	
Tempo de Margem	2,73	4,84	
Percentagem de ocupação	65,84%	39,50%	

Figura 3.13- Dados do problema e resultados para uma velocidade de 0,6 m/s

Na Figura 3.10 estão representados do lado esquerdo os parâmetros utilizados nesta análise e do lado direito os resultados obtidos. É possível constatar que quer para a situação de procura máxima, quer para a de procura nominal, o AGV consegue cumprir todos os movimentos tendo uma taxa de ocupação num caso de cerca de 66% e no outro de 40%.

Análise do pior caso

Para a análise do pior caso, foi escolhido o posto de customização número 7, como sendo aquele que apresentava uma distância maior em relação ao total dos postos de customização. A velocidade de movimentação é de 0,4 m/s.

Tabela 3.11 - Performance do AGV a uma velocidade de 0,4 m/s

Posto	PM Mecânica	PM Hidráulica	Posto 1	Posto 2	Posto 3	Posto 4	Custom 1	Custom 2	Custom 3	Custom 4	Custom 5	Custom 6	Custom 7	Totais
Distância (em metros)	50,00	42,50	7,00	14,10	21,20	28,30	28,50	35,60	42,70	49,80	56,90	64,00	71,10	-
Velocidade (m/s)	0,40	0,40	0,40	0,40	0,40	0,40	0,40	0,40	0,40	0,40	0,40	0,40	0,40	-
Tempo Movimento (em segundos)	125,00	106,25	17,50	35,25	53,00	70,75	71,25	89,00	106,75	124,50	142,25	160,00	177,75	-
Número de Movimentos	8,00	8,00	24,00	8,00	8,00	4,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	36,00	96,00
Tempo de Carga (em segundos)	25,00	25,00	25,00	25,00	25,00	25,00	25,00	25,00	25,00	25,00	25,00	25,00	25,00	-
Tempo de Descarga (em segundos)	20,00	20,00	20,00	20,00	20,00	20,00	20,00	20,00	20,00	20,00	20,00	20,00	20,00	-
Tempo Total (em segundos)	1360,00	1210,00	1500,00	642,00	784,00	463,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	8019,00	13978,00

Na Tabela 3.11 estão registados os resultados relativos às distâncias e aos tempos que o AGV efetua entre o armazém e os respetivos postos, bem como a velocidade a que este se descola e o número de movimentos que faz. O tempo total referente a todos os movimentos foi cerca de 14000 segundos, valor ligeiramente superior ao registado no *layout 2* para o pior caso.

O tempo total referente a todos os movimentos subiu de acordo com o esperado, passando de cerca de 9500 segundos no caso médio para cerca dos 14000 segundos neste.

Tempo de trabalho			
8			
Tempo total (em horas)			
3,882777778			
Velocidade (m/s)	Nº Máquinas Dia (Objetivo)	Procura Máxima	Procura Nominal
0,4	Tempo Abastecimento/Máquina (Horas)	2,00	1,20
Tamanho Posto (m)	Tempo Ocupação AGV	3,88	3,88
7,1	Tempo de Margem	7,77	4,66
Tempo de Carga AGV (s)	Tempo de Margem	0,23	3,34
25	Percentagem de ocupação	97,07%	58,24%
Tempo de Descarga AGV (s)			
20			

Figura 3.14- Dados do problema e resultados para uma velocidade de 0,4 m/s

Na Figura 3.14 estão mais uma vez representados do lado esquerdo os parâmetros utilizados nesta análise e do lado direito os resultados obtidos. É possível constatar que quer para a situação de procura máxima, quer para a de procura nominal, o AGV consegue cumprir todos os movimentos tendo uma taxa de ocupação num caso de cerca de 97% e no outro de 58% o que significa que o AGV está sem nada para fazer apenas durante 3% do tempo em situação de procura máxima e 42% do tempo em situação de procura nominal.

Viabilidade do *layout*

Com este terceiro *layout* os problemas anteriores ficaram resolvidos. Tanto em termos espaciais como em termos de tempo de ocupação do AGV, este *layout* cumpria com os objetivos. Contudo faltava ainda responder a uma questão: como garantir que o material seria abastecido a tempo no posto quando o dia de trabalho começasse, uma vez que o AGV não consegue abastecer os 4 postos de linha mais o posto de customização tudo ao mesmo tempo?

A solução escolhida foi igual à solução que atualmente a empresa utiliza. Em vez de o AGV efetuar os movimentos no início do dia, abasteceria os postos uma vez no final de cada dia, permitindo deste modo arrancar com a produção sem quaisquer atrasos.

Análise financeira

Uma vez que o AGV vai substituir uma pessoa, foi efetuado um estudo para saber quantos anos demoraria a ser pago o investimento nesta solução com AGV. O resumo desse estudo pode ser visto na figura seguinte :

	Custo / Hora	Custo / Dia	Custo / Mês	Custo / Ano	Custo Logística / Dia	Custo Logística / Mês	Custo Logística / Ano	Custo Estimado do AGV
Procura Máxima	5,11 €	40,91 €	900,00 €	12.600,00 €	26,95 €	592,88 €	7.114,50 €	25.000,00 €
Procura Nominal	5,11 €	40,91 €	900,00 €	12.600,00 €	16,16 €	355,50 €	4.266,00 €	25.000,00 €
					Payback (anos)			
					Procura Máxima	3,5		
					Procura Nominal	5,9		

Figura 3.15- Retorno do investimento

Para realizar esta estimativa, foi necessário averiguar qual o custo de um funcionário para a empresa. Esse custo concluiu-se que seria de 900 euros por mês, num total de 14 meses,

acumulando salário e outros encargos. Nas quatro primeiras colunas da parte superior da Figura 3.15 é esse valor que vemos expresso, não só por mês também o equivalente por ano, dia (foram considerados 22 dias úteis) e hora (foram consideradas 176 horas). Dos resultados obtidos para o caso médio no capítulo anterior deste documento, retirou-se o tempo de ocupação do AGV que foi respetivamente de 5,27 horas para a procura máxima e 3,16 horas para a nominal.

A partir desse valor, foi possível calcular o custo logístico por dia para ambas as procuras, para tal bastou multiplicar o custo por hora pelo tempo de ocupação. Os resultados, tal como se confirma pela figura, foram de 26,95€ e 16,16€ para a procura máxima e nominal respetivamente, e com esses valores calculou-se o equivalente custo logístico por mês e por ano, utilizando o mesmo método do custo por dia referido no parágrafo anterior.

Tendo em conta que o investimento necessário para comprar o AGV e preparar a fábrica com as condições de receber o AGV seria de cerca de 25000 euros, foi possível estimar o *payback* desta solução, através do quociente entre o custo do AGV e o custo logístico de uma pessoa por ano.

Os resultados mostram que, para um caso de procura máxima, o investimento teria o seu retorno ao fim de aproximadamente 3 anos e meio e para uma procura nominal o retorno demoraria aproximadamente 6 anos.

Desta forma fica completa a análise à performance do AGV. Como tal, o próximo passo será recorrer a um *software* de simulação para testar e validar os resultados obtidos.

Os resultados dessa simulação podem ser vistos no próximo capítulo deste documento.

Capítulo 4

Avaliação do desempenho recorrendo à simulação

Este capítulo tem como objetivo testar o desempenho do sistema de produção utilizando a ferramenta de simulação. Uma vez apresentado o *software*, serão estudados dois pequenos exemplos por forma a facilitar a familiarização com a ferramenta. Por fim, recorrendo à simulação, será efetuada uma análise do desempenho da terceira configuração de *layout* de forma a confirmar a viabilidade da sua implementação no sistema de produção da empresa.

Em suma, os pontos a abordar são os seguintes:

- Introdução à ferramenta de simulação;
- Familiarização com o *software*;
- Simulação da terceira configuração de *layout*.

4.1 Introdução

O ambiente de simulação utilizado neste projeto é ferramenta Simio. Simio é uma família de produtos que inclui as edições Express, Design, Team e Enterprise. Os quatro produtos fornecem o mesmo ambiente de modelação 3D, um modelo poderoso, baseado em objetos.

Simio Express

É ferramenta poderosa e funcional para modelação baseada em objetos 3D e sistemas de animação. O Simio Express utiliza a biblioteca Simio padrão para proporcionar um ambiente de modelação forte e flexível para uma modelagem 3D rápida. Adequada a utilizadores que querem construir rapidamente modelos atraentes e realista dos seus sistemas.

Simio Design

Simio Design é um produto que inclui a biblioteca padrão para começar com Simio, mas adiciona um recurso único e poderoso (patente) que permite modificar a lógica dos objetos usando lógica orientada para o processo. Fornece ainda a capacidade de criar e distribuir as próprias bibliotecas de modelagem personalizadas. O Simio Design é um produto ideal para modeladores com algum conhecimento de modelação que querem ter controlo total sobre a

lógica de processo complexo ou querem desenvolver novas bibliotecas de modelação, focadas em áreas específicas de aplicações.

Simio Team

Simio Team é ideal para consultores que desejam oferecer um modelo a correr para os seus clientes sem que estes precisem comprar Simio. O Team Edition também fornece suporte para o compartilhamento do *software* Simio usando uma licença flutuante.

Simio Enterprise

Simio enterprise adiciona um poderoso conjunto de patentes para alargar os recursos Team Edition a um suporte operacional diário. Permite alargar a utilização e a vida útil dos modelos Simio previamente construídos ou construir e executar novos modelos de risco com base em Planeamento e Programação (RPS). Possui a funcionalidade de produzir relatórios personalizados sob medida, gráficos e tabelas para uso por programadores ,permitindo a redução do risco e dos custos através da análise.

Muitos pacotes de simulação são construídos com base em tecnologias 2D antiquadas o que limita não só a capacidade de visualizar o processo como a captação das relações espaciais 3D do sistema.

Alguns dos produtos antigos, limitam-nos aos modelos 2D, enquanto outros oferecem complexos modelos 3D que requerem a construção em separado do modelo de visualização 3D, e posterior união das componentes separadas.

Estes passos extra adicionam trabalho e tempo desnecessário ao projeto, ao mesmo tempo que tornam difícil a edição e manutenção do modelo de animação.

Em contraste, a ferramenta Simio fornece um verdadeiro ambiente de modelação 2D/3D baseado em objetos que permite a construção do modelo 3D num único passo, a partir de uma visualização *top-down* 2D mudar para uma visualização em 3D do sistema. Basta arrastar e colocar os objetos 3D a partir de uma biblioteca de objetos no nosso modelo de visualização. Todos os modelos Simio de construção de produtos estão integrados diretamente com o GoogleWarehouse, uma enorme biblioteca, para que seja possível efetuar rapidamente o *download* de símbolos [14].

4.2 Familiarização com o *software*

Com o intuito de compreender o funcionamento do *software*, avaliando ao mesmo tempo as suas capacidades para a simulação de sistemas de produção com transporte de materiais efetuado por AGV, foram desenvolvidos dois pequenos projetos.

4.2.1 Primeiro projeto

Problema

Através de um veículo, que circula através de um determinado percurso, especificar os pontos de carga e de descarga de diferentes entidades em diferentes localizações

Conceitos chave

Tipo de entidade, Rota, Transporte com veículo, Tabela de sequência, Veículo

Resumo

Existiram 4 locais de carga/descarga ao longo do percurso do efetuado pelo veículo. As entidades devem aguardar no local de forma a que o veículo efetue o *picking*, baseado na sequência estabelecida previamente. Além disso, as entidades não serão carregadas para o veículo segundo a ordem FIFO, mas serão carregadas com base na localização do veículo, ou seja, todas as entidades carregadas num determinado local, vão ser descarregadas num outro ponto do percurso previamente estabelecido.

Abordagem técnica

Cada ponto de carga e descarga estará representado no sistema por uma *Source* e um *Sink* respetivamente. O veículo mover-se-á no sentido dos ponteiros do relógio através do percurso estabelecido. Todas as *Sources* e *Sinks* estarão conetadas através de caminhos unidireccionais por forma a indicar ao veículo qual a direcção que este deve seguir. A cada entidade “produzida” numa *Source* será atribuído um *Sink* como destino, por forma a ser descarregada lá.

Passos para a construção do modelo**1)Setup**

Colocar 4 *Sources* e 4 *Sinks* na janela de trabalho. Conetar através de caminhos e os diferentes nós através da seguinte ordem: *Source1-Sink1-Source2-Sink2-Source3-Sink3-Source4-Sink4-Source1*. O aspeto final do *setup* pode ser visto na figura seguinte:

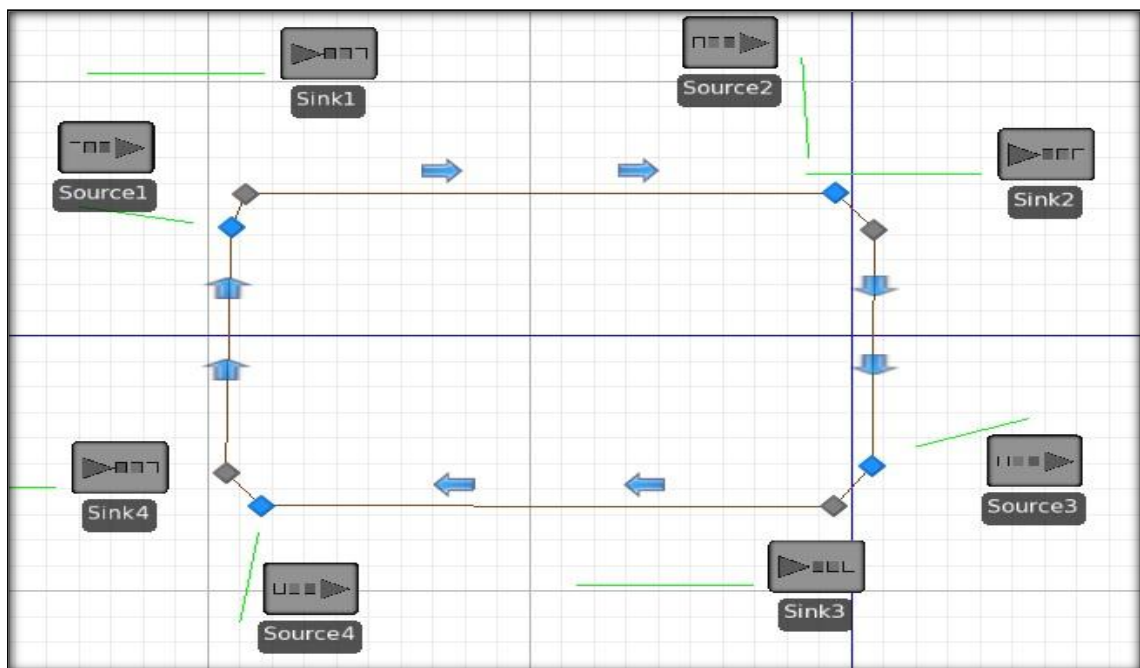


Figura 4.1- Setup do projeto 1

2) Definição da rota

No painel de criação de tabelas, adicionar uma nova tabela sequencial. Nos campos da tabela preencher com a ordem anteriormente especificada. O resultado deste passo pode ser visualizado na tabela seguinte:

Tabela 4.1 - Tabela sequencial referente à rota do veículo

Destination
Output@Source1
Input@Sink1
Output@Source2
Input@Sink2
Output@Source3
Input@Sink3
Output@Source4
Input@Sink4

3) Definições do veículo

Na janela de trabalhos encolher o ícone veículo e atribuir-lhe ao percurso a Tabela 4.1. A capacidade de transporte do veículo neste caso, ficou definida como ilimitada, mas conforme a necessidade do utilizador, este valor pode ser alterado.

4) Criar as diferentes entidades

As *Sources* são os objetos responsáveis pela criação das entidades. Para tal basta arrastar para a janela de trabalhos quatro modelos de entidades diferentes e atribuir-lhes nomes diferentes: 'PartA', 'PartB', 'PartC' e 'PartD'. Cada *Source* será responsável pela criação de um tipo de entidade. Em cada *Source* será também alterado o campo "transporte por veículo" para verdadeiro, por forma a permitir o transporte de entidades ao longo do percurso apenas através de um veículo, e o campo "nó de destino" para definir o ponto de descarga das entidades.

Resultado final

A figura seguinte espelha o resultado final deste primeiro exemplo:

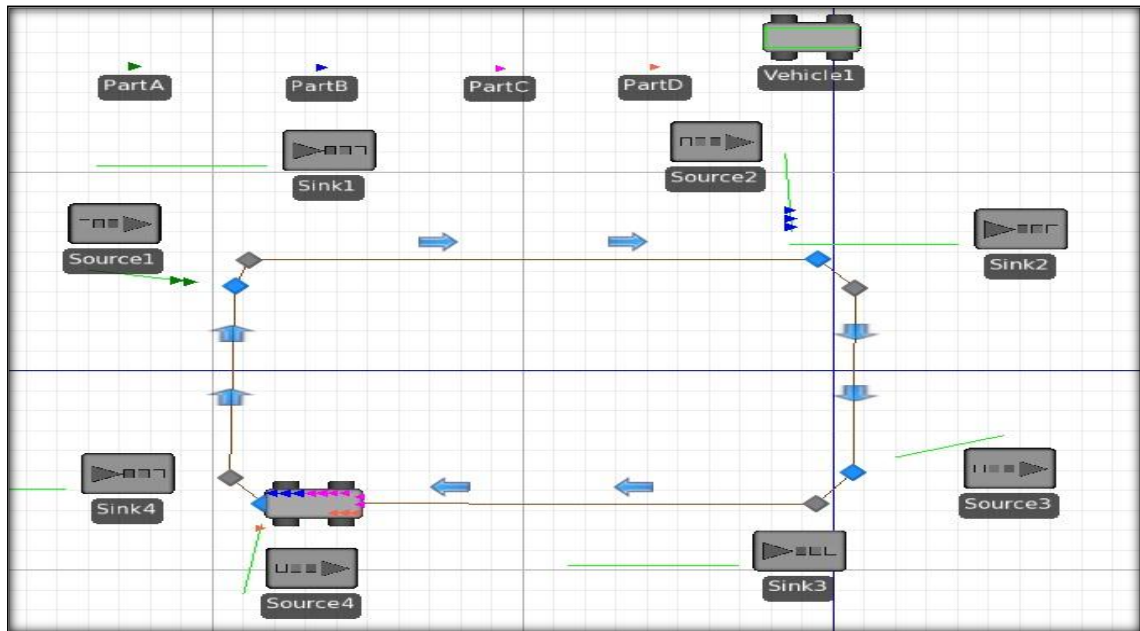


Figura 4.2- Configuração final do projeto 1

Na figura pode-se verificar o veículo a efetuar o transporte das diferentes entidades. No momento específico da imagem, o veículo está no nó correspondente à *Source 4* a carregar as entidades laranjas. Em seguida ele irá movimentar-se para o nó *Sink 4* e descarregar as entidades azuis. No nó da *Source 1*, irá carregar as entidades verdes enquanto que no nó do *Sink 1* irá descarregar as entidades rosas e assim sucessivamente.

4.2.2 Segundo projeto

Problema

Através de uma *Source* produzir diferentes entidades. Cada entidade será processada segundo uma sequência de máquinas específicas. O tempo de processamento em cada máquina varia conforme a entidade.

Conceitos chave

Definições da entidade, Tabela de dados, Propriedades dinâmicas dos objetos, Tabela de sequência, Modelo de entidade, propriedades numéricas, Nós de transferência

Resumo

A *Source* produzirá três entidades diferentes:

- PartA (Verde) segue a sequência: Server 1 - Server 2 - Server 3 - Sink 1;
- PartB (Red) segue a sequência: Server 3 - Server 2 - Server 1 - Sink 1;
- PartC (Blue) segue a sequência: Server 2 - Sink 1.

Abordagem técnica

Será criada uma tabela de sequência para cada entidade, por forma a manter cada uma isolada. Será também elaborada uma tabela de dados para que os *Servers* executem as tarefas de acordo com um determinado tempo de processamento.

Passos para a construção do modelo

1) Setup

Adicionar uma *Source*, um *Sink* e três *Servers* na janela de trabalho. Acrescentar ainda 2 modelos de entidades diferentes que vão corresponder às entidades PartA, PartB e PartC.

2) Tabela de Sequência

No painel de criação de tabelas, adicionar uma nova tabela sequencial. Adicionar em cada tabela sequencial uma coluna denominada “*ProcessTime*”. Preencher as tabelas de acordo com as preferências estabelecidas. O resultado deste passo pode ser visualizado na tabela seguinte:

Tabela 4.2 - Tabelas referentes à sequência de operações das entidades A, B e C

Sequence C	Sequence B	Sequence A
Destination	Destination	Destination
Process Time	Process Time	Process Time
Input@Server2 Random.Triangular(0.5, 1.2, 1.6)	Input@Server3 Random.Triangular(0.5, 0.8, 1.2)	Input@Server1 Random.Uniform(.5, .9)
Input@Sink1 0.0	Input@Server2 1.5	Input@Server2 Random.Triangular(0.5, 1.1, 1.2)
	Input@Server1 1	Input@Sink1 0.0
	Input@Sink1 0.0	

2) Tabela de Dados

Adicionar uma tabela de dados com as seguintes propriedades:

- *PartType* : PartA, PartB, PartC;
- *ProcessTime*: SequenceA.ProcessTime, SequenceB.ProcessTime, SequenceC.ProcessTime;
- *ProductMix* : 10, 20, 30;
- *PartSequence* : SequenceA, SequenceB, SequenceC.

3) Várias entidades na mesma Source

Na janela de trabalho, expandir a subcategoria “*Before Creating Entities*” e atribuir a tabela dados a esse campo. Na subcategoria “*On Created Entity*” atribuir o comando “*Tabeladados.PartSequence*”

Resultado final

A figura seguinte espelha o resultado final deste primeiro exemplo:

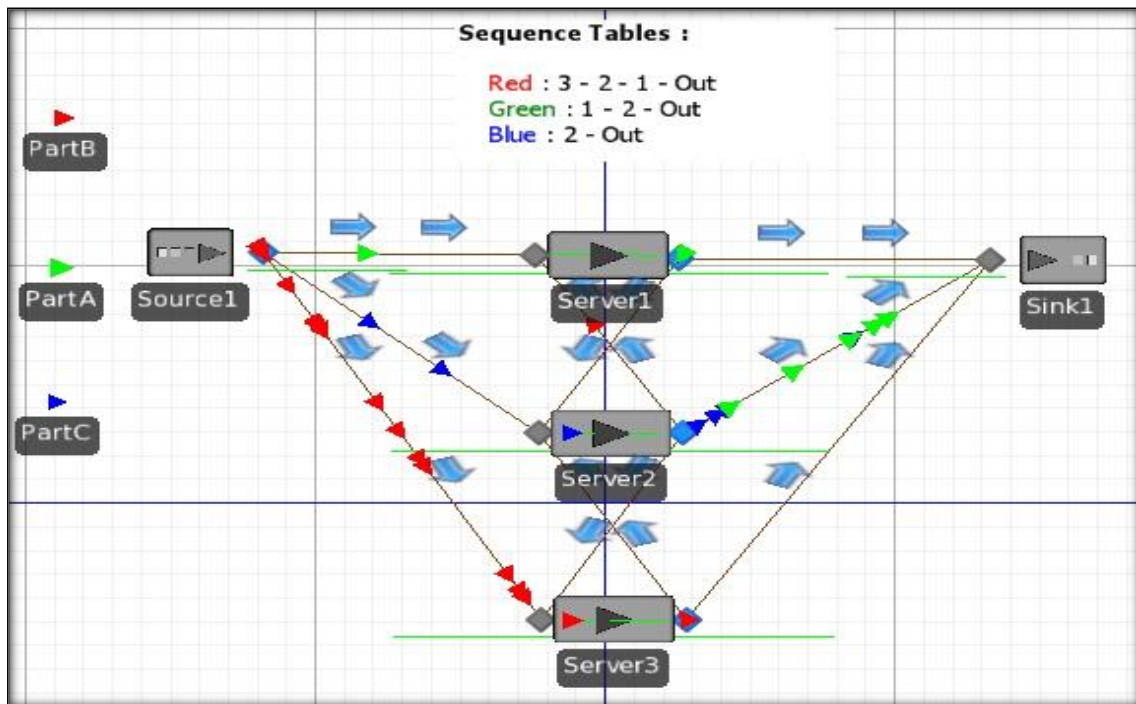


Figura 4.3- Simulação do projeto 1

Na Figura 4.3 pode-se verificar os diversos movimentos das entidades. Embora uma imagem não permita o mesmo grau de percepção da simulação em tempo real, é possível perceber alguns dos movimentos e verificar se o sistema está de acordo com o pretendido.

Em termos de *setup*, temos os três *Servers*, a *Source* e o *Sink* conforme foi enunciado, e de uma só *Source* estão de facto a sair três tipos de entidades diferentes.

Cada uma dessas entidades deverá seguir o percurso indicado na parte superior da figura. A entidade azul entra no servidor dois e sai diretamente para o *Sink1*, tal como se confirma pela figura. A entidade verde entra pelo server 1, segue para o server 2 e em seguida para o *Sink1*. Em relação à entidade vermelha, apenas não foi captada na figura a última parte do trajeto entre o server 1 e o *Sink1*, sendo apenas captadas entidades vermelhas entre a *Source* e o server 3, entre o server 3 e o server 2 e entre o server 2 e o server 1. Contudo, na simulação, foi possível verificar que tal acontecia.

Exploradas as principais funcionalidades do *software*, seguiu-se a implementação em *software* do *layout* desenvolvido e analisado no capítulo anterior.

4.3 Simulação da terceira configuração

4.3.1 Conceção

Para a fase de simulação, o objetivo era conseguir simular o *layout* da forma mais parecida possível com o *layout* apresentado na Figura 3.11 do capítulo anterior.

Para tal recorreu-se a uma das funcionalidades do *software* que permite importar ficheiros do computador para a janela de trabalho, e através deste método, importou-se a figura pretendida para a janela de trabalho. Como consequência o fundo de trabalho passou a ser a imagem do *layout*, e sobre os locais anteriormente denominados como armazém, postos e zonas de pré montagem foram colocados os objetos do *software* que vão desempenhar as suas funções, uma *Source* e um *Sink* que representam o armazém de onde saíram os materiais para serem processados, e *workstations* que representam quer os postos de trabalho quer as pré montagens. No local dos corredores por onde o AGV se vai deslocar, foram colocados nós de transferência para representarem o caminho que este deve seguir.

O resultado destas primeiras alterações pode ser visto na figura seguinte:

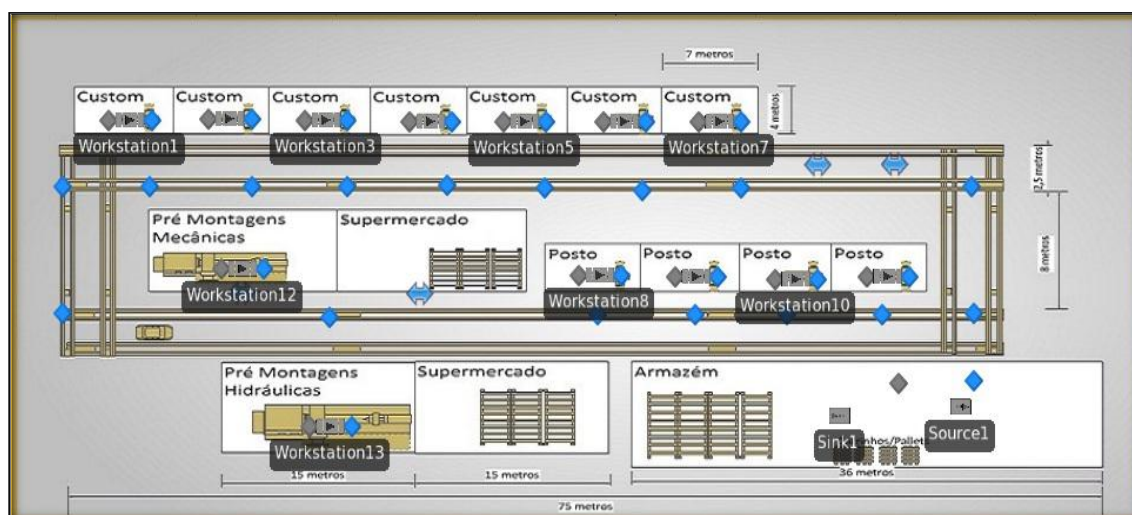


Figura 4.4- Janela de trabalho do *software* simio após a introdução dos primeiros objetos

O passo seguinte foi criar o AGV e as entidades que por ele iriam ser transportadas. Como tal foram criadas 7 entidades distintas (4 postos da linha de produção + 1 posto de customização + 1 pré montagem mecânica + 1 pré montagem hidráulica) que representam os 7 locais que vão ser abastecidos pelo veículo. A cada entidade foi atribuída uma cor diferente para facilitar a distinção entre elas. O resultado das várias atribuições de cor é apresentado na figura seguinte:

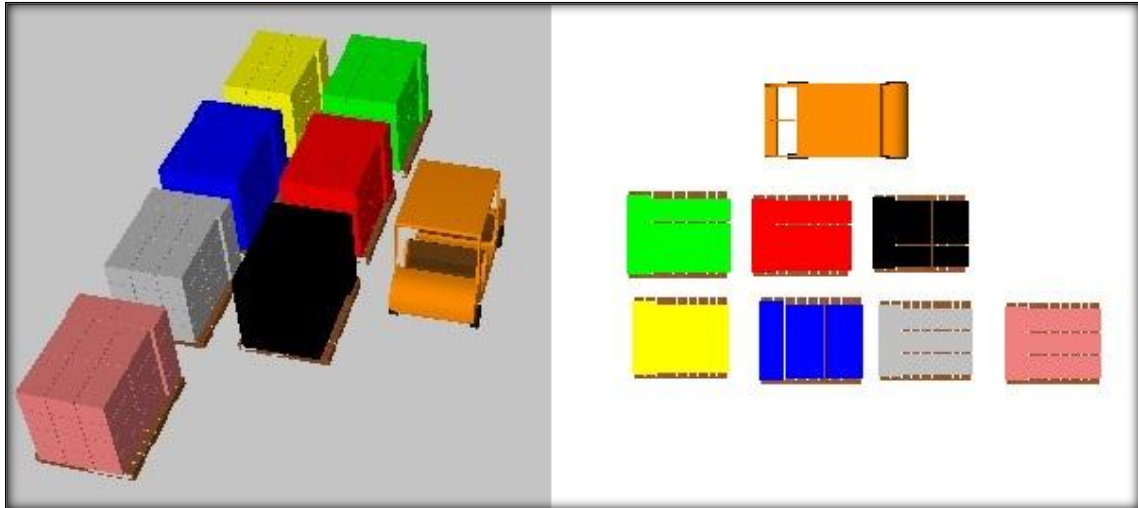


Figura 4.5- Vista 3D e 2D do AGV e respetivas entidades

É necessário atribuir a cada entidade o destino correto. Se em termos de simulação, enviar uma entidade verde para o local onde deveriam ir as amarelas não é grave, uma vez que o importante é existir o movimento para o posto, em termos reais tal não pode acontecer, pois significa que o material enviado não era o adequado para aquele posto. Por isso, na tentativa de aproximar o mais possível a simulação à realidade foi executada esta tarefa de atribuição de um destino específico a cada entidade.

Para concretizar esta tarefa foi necessário criar uma tabela de sequência para cada entidade, conforme as tabelas seguintes:

Tabela 4.3 - Tabelas referentes à sequência de operações das entidades A, B, C, D, E, F e G

<p>Sequence F</p> <p>Sequence</p> <p>> Input@Workstation12</p> <p>Input@Sink1</p> <p>Edit Filter</p>	<p>Sequence E</p> <p>Sequence</p> <p>> Input@Workstation4</p> <p>Input@Sink1</p> <p>Edit Filter</p>	<p>Sequence D</p> <p>Sequence</p> <p>> Input@Workstation11</p> <p>Input@Sink1</p> <p>Edit Filter</p>	<p>Sequence B</p> <p>Sequence</p> <p>> Input@Workstation9</p> <p>Input@Sink1</p> <p>Edit Filter</p>
<p>Sequence C</p> <p>Sequence</p> <p>> Input@Workstation10</p> <p>Input@Sink1</p> <p>Edit Filter</p>	<p>Sequence G</p> <p>Sequence</p> <p>> Input@Workstation13</p> <p>Input@Sink1</p> <p>Edit Filter</p>	<p>Sequence A</p> <p>Sequence</p> <p>> Input@Workstation8</p> <p>Input@Sink1</p> <p>Edit Filter</p>	

Para todas as entidades foi atribuída uma *workstation* diferente conforme o posto de destino do material a que correspondem, mas foi também atribuído um segundo local em cada uma das sequências, local esse, que é comum a todas. Este segundo local retratado nas tabelas como Input@Sink1 vai simular as estantes vazias que devem regressar ao armazém.

Seguindo por exemplo a tabela de sequência F: a entidade F sairá do armazém e será transportada pelo AGV até à *workstation*¹². Quando chegar ao destino o AGV deixará lá a entidade F e regressará ao armazém para carregar uma outra entidade para um outro destino, e assim sucessivamente. Paralelamente a estes movimentos, outros processos vão decorrendo. A entidade F que se encontra agora no posto será processada durante um determinado tempo simulando, o que na realidade se trata, de um operador a consumir material da estante, enquanto o AGV efetua outras viagens. Quando esse tempo terminar a entidade F fica no local de saída do posto a aguardar que o AGV a venha transportar de volta ao armazém. Este último movimento de regresso ao armazém simboliza a estante vazia resultante do consumo dos materiais por parte do operador, estante essa que conforme a descrição do sistema, deve voltar ao armazém.

Aplicando então um segundo destino a todas as entidades garantimos que as diversas estantes das diferentes entidades regressarão ao armazém.

Na fase seguinte foi necessário criar uma tabela com todos os movimentos que o AGV teria que efetuar, baseando os movimentos no número de movimentos do AGV:

- Armazém - PM Hidráulica - 2 abastecimentos;
- Armazém - PM Mecânica - 2 abastecimentos;
- Armazém - Linha de produção - 11 abastecimentos;
- Armazém - Zona de customização - 9 abastecimentos.

Tabela 4.4 - Tabela com os movimentos do AGV

Part Type	Part Sequence
PartF	SequenceF
PartG	SequenceG
PartE	SequenceE
PartC	SequenceC
PartB	SequenceB
PartE	SequenceE
PartD	SequenceD
PartE	SequenceE
PartD	SequenceD
PartE	SequenceE
PartD	SequenceD
PartE	SequenceE
PartD	SequenceD
PartC	SequenceC
PartB	SequenceB
PartD	SequenceD
PartE	SequenceE
PartE	SequenceE
PartE	SequenceE
PartA	SequenceA
PartD	SequenceD
PartE	SequenceE
PartF	SequenceF
PartG	SequenceG

Na tabela é possível identificar os 24 movimentos que o AGV terá de fazer. As entidades F e G correspondem aos movimentos das pré montagens, a entidade E correspondem aos movimentos para a zona de customização e as entidades A, B, C e D correspondem aos 4 postos da linha de produção que no total perfazem 11 movimentos.

Criada a tabela, é necessário alterar as propriedades do armazém, por forma a que produzisse apenas a quantidade desejada, caso contrário os resultados dos tempos de ocupação do AGV não estariam corretos.

Properties: Source1 (Source)	
Arrival Logic	
Entity Type	JobTable.PartType
Arrival Mode	Interarrival Time
Time Offset	0.0
Interarrival Time	Random.Exponential(.25)
Entities Per Arrival	1
Stopping Conditions	
Maximum Arrivals	24
Maximum Time	Infinity
Stop Event Name	
Table Reference Assignments	
Before Creating Entities	
Table Name	JobTable
Row Number	RowNumber
On Created Entity	
Table Name	JobTable.PartSequen...
Row Number	
State Assignments	
Before Exiting	1 Row
Financials	
Add-On Process Triggers	
Advanced Options	
General	
Animation	

Figura 4.6- Propriedades do armazém

Na zona das propriedades, Figura 4.6, existem 3 campos fundamentais para o bom funcionamento do sistema. O primeiro é o *entity type*. É através deste campo que se atribui ao *software* o tipo de entidades que deve produzir. Com o comando introduzido, o *software* associa as entidades às da tabela dos movimentos sabendo desta forma não só o tipo de entidades como a quantidade de cada uma delas conforme o número de linhas.

O segundo campo importante é o *maximum arrival*. Aqui indicamos ao *software* qual o número máximo de entidades deve produzir. Caso este campo não fosse preenchido o *software* produziria um número ilimitado de entidades impossibilitando a análise de resultados.

O fim o terceiro campo mais importante é o *table name* do separador *on created entity*. Com base neste campo, o *software* associa a produção com a tabela, atribuindo a sequência de movimentos correta a cada entidade. Caso este campo não fosse preenchido, aconteceria que as entidades em vez de se deslocarem para o destino específico, iriam todas para o mesmo destino atribuído de forma aleatória pelo *software*.

Configurado o objeto referente ao armazém, era necessário ainda configurar veículo.

Properties: Vehicle1 (Vehicle)

Transport Logic	
Ride Capacity	1
Task Selection St...	First In Queue
Load Time	25
Units	Seconds
Unload Time	20
Units	Seconds
Park to Load/Unl...	True
Travel Logic	
Initial Desired ...	0.6
Initial Network	Global
Network Turnaro...	Exit & Re-enter
Routing Logic	
Initial Priority	1.0
Initial Node (Home)	Output@Source1
Routing Type	On Demand
Idle Action	Park At Home
Off Shift Action	Park At Home
Resource Logic	
Reliability Logic	
Financials	
Add-On Process Triggers	
Population	
Advanced Options	
General	
Animation	

Figura 4.7- Propriedades do AGV

Nas propriedades do veículo, Figura 4.7, existem vários aspetos a ter em conta. Primeiro é necessário atribuir um nó de partida ao veículo. Como se comprova na figura, foi escolhido o nó `output@Source1` que corresponde ao nó de saída do armazém. Assim está garantido que cada vez que se inicia a simulação, o AGV está no armazém pronto a ser utilizado.

O próximo passo é escolher o nó onde o AGV deve aguardar ordens, ou seja, sempre que o AGV não está a ser solicitado para um movimento, ele deve aguardar no armazém por uma nova ordem. Esse comando é dado pela ordem *Park At Home*.

Em seguida o *software* permite definir os tempos de carga e descarga do AGV. Conforme já foi referido, o tempo de carga é de 25 segundos e o de descarga é de 20 segundos. Portanto essa foi a informação transmitida ao *software*.

Por último falta decidir a velocidade a que o AGV se vai deslocar. No exemplo da figura está definido como 0.6 m/s, mas pode ser alterado conforme a vontade do utilizador.

Por fim foram feitas pequenas alterações ao nível estético para conceder à simulação um aspeto mais industrial.



Figura 4.8- Visão global em 3D do sistema de produção

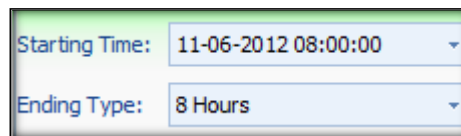


Figura 4.9- Visão global em 3D do sistema de produção em funcionamento

A Figura 4.8 apresenta o aspeto geral numa perspetiva 3D transmitindo a noção da grandeza espacial do *layout*. A Figura 4.9 foi captada no desenrolar da simulação e nela podem ser detetados alguns elementos previamente aboradados. No centro da figura é possível observar o AGV numa das suas múltiplas viagens entre os postos e o armazém. Deslocado sobre o lado esquerdo está um dos postos em funcionamento, com o operador a trabalhar sobre a entidade verde. Na parte superior da figura surgem as zonas de pré-montagens com as entidades rosa e cinzenta a sofrerem as devidas alterações.

4.3.2 Resultados

Antes de iniciar-se a análise dos resultados é necessário definir a simulação para um determinado intervalo de tempo:



The image shows a software interface for defining simulation parameters. It contains two dropdown menus. The first is labeled 'Starting Time:' and has the value '11-06-2012 08:00:00' selected. The second is labeled 'Ending Type:' and has the value '8 Hours' selected.

Figura 4.10- Definição das horas de trabalho

Estabelecendo um dia aleatório para o início da simulação, bastava informar o *software* que as 8 horas seguintes eram aquelas que estariam sujeitas à análise de resultados, representando as 8 horas de um dia de trabalho.

Posto isto, o primeiro resultado a verificar é o número de entidades que foram criadas:

Tabela 4.5 - Tabela com o número de entidades do armazém

Source	Source1	Throughput	NumberEntered	Total	24,0000
			NumberExited	Total	24,0000

A tabela anterior confirma que no armazém, representado pela *Source* 1, existiram 24 entidades que saíram e 24 entidades que entraram. Este resultado está de acordo com o esperado. As 24 entidades que saíram do armazém servirão para abastecer os postos de trabalho enquanto as 24 entidades que entraram representam as estantes vazias trazidas pelo AGV de volta ao armazém.

Verificado o número de movimentos, faltava verificar se os tempos de utilização do AGV estavam de acordo com os tempos apresentados no capítulo 3.

Tabela 4.6 - Tabela com os tempos de ocupação do AVG para 3 velocidades diferentes

0.8 Meters per Second	Vehicle	[Population]	ResourceState	TransportingTime	Total (Hours)	2,0108
0.6 Meters per Second	Vehicle	[Population]	ResourceState	TransportingTime	Total (Hours)	2,3464
0.4 Meters per Second	Vehicle	[Population]	ResourceState	TransportingTime	Total (Hours)	3,2200

Analisando os tempos da simulação, Tabela 4.6, pode-se dizer que os tempos estão semelhantes aos estimados anteriormente embora exista um aumento progressivo do desfasamento à medida que a velocidade é menor, ou seja, em relação aos tempos para a velocidade 0.8 m/s, apresentam resultados iguais entre a simulação e a estimativa, 2,01 em ambos os casos. Quando se altera para uma velocidade de 0.6 m/s existe um ligeiro desvio entre os tempos. No caso da simulação foram 2,35h quando a estimativa tinha sido de 2,6h. Diminuindo ainda mais a velocidade para 0.4 m/s a diferença aumenta. O tempo da simulação foi de 3,2h enquanto o tempo estimado tinha sido de 3.8h.

Existe no entanto, uma explicação para esta diferença entre as duas análises e está relacionada com o fator eficiência. Quando foram efetuados os cálculos para a estimativa, foi considerado que em todos os movimentos o AGV voltava ao armazém, por forma a dar uma margem de erro confortável. Em termos de simulação, essa margem é mais pequena. Isso acontece graças ao funcionamento do *software* que corre a simulação do modo mais eficiente possível.

Através de um exemplo torna-se mais fácil perceber do que se está a tratar. Imaginando que o AGV deixa uma determinada entidade num posto de trabalho, e durante o seu percurso de volta ao armazém passa por um posto que contém uma estante vazia, automaticamente trará essa estante para o armazém poupando desta forma 2 viagens em vazio, a de retorno para o armazém e a de ida para apanhar a estante vazia.

Nesta situação a simulação poupa 2 viagens em relação à estimativa, o que implica uma diminuição do tempo de utilização do AGV e explica as diferenças registadas.

Outro fator importante para estas diferenças é a velocidade de transporte do AGV e que explica o facto de as diferenças serem maiores com a diminuição da velocidade. A uma velocidade elevada a diferença acaba por não se fazer sentir. Contudo, à medida que se diminui o valor da velocidade, maior é o tempo poupado em situação de eficiência como a do exemplo anterior, e portanto, maior será a diferença entre os tempos registados na simulação e os tempos estimados.

Capítulo 5

Conclusões

Este capítulo irá apresentar uma visão geral sobre o que foi realizado no âmbito da presente dissertação, bem como algumas recomendações sobre possíveis desenvolvimentos futuros.

5.1 Análise de resultados

Com base nas diferentes análises apresentadas ao longo do documento pode-se afirmar que o processo que envolve a movimentação de materiais ao nível do chão de fábrica de uma empresa, desempenha um papel fundamental no sistema de produção, na medida em que estes dois sistemas estão intimamente ligados. O principal objetivo desta dissertação consistiu no desenvolvimento de um sistema de produção cujo transporte de materiais era efetuado por um AGV, focalizando este desenvolvimento especialmente no veículo utilizado, na capacidade de carga e no cumprimento de prazos de entrega.

A necessidade que a empresa sentiu em reduzir os seus custos, devido a um orçamento com objetivos cada vez mais difíceis de alcançar, desencadeou um grande interesse nas tecnologias industriais, sendo o AGV uma das tecnologias que permitia à organização cumprir esses mesmos objetivos. As modificações, quer ao nível do transporte de materiais quer ao nível do sistema de produção em geral, alteram diretamente os resultados e a produtividade da empresa, o que implica também uma alteração direta ao nível dos custos.

Nesta dissertação existiram duas fases distintas. Uma primeira fase mais analítica estudando a performance dos diversos *layouts*, e uma segunda fase mais computacional, que pretendia validar os resultados das análises da primeira fase.

Das diversas análises efetuadas é possível concluir que o AGV permite que o sistema de transporte de materiais cumpra os prazos de entrega do material, o que vai permitir a produção de uma quinadora por dia, objetivo principal do sistema de produção, e que o investimento feito nesta solução irá ter o seu retorno cerca de 6 anos depois, o que a nível industrial pode ser considerado como uma boa solução.

Tendo em consideração os resultados das simulações realizadas, pode-se considerar que os resultados foram um sucesso.

5.2 Críticas ao trabalho

Os objetivos previstos foram cumpridos com sucesso sendo esse o grande indicador de avaliação deste projeto.

Porém, nem tudo foi perfeito ao longo do trabalho.

Em primeiro lugar é importante referir que o tema abordado na dissertação é apenas uma parte de uma mega projeto a 5 anos e, como consequência dos sucessivos atrasos na evolução do projeto, existiu a necessidade de efetuar alterações na estrutura da dissertação bem como sucessivos reajustamentos nos objetivos propostos.

Outra crítica prende-se com a empresa onde o trabalho foi realizado. Uma vez que se tratava de uma empresa grande, com muitos funcionários e muitas exigências, nem sempre o acompanhamento foi fácil, o que não deixa de ser compreensível dada a dimensão da empresa. Ainda assim, a falta de acompanhamento foi de quando em vez um aspeto positivo porque permitiu melhorar competências adquiridas ao longo de 5 anos de estudos, que só em termos práticos se tornam perceptíveis, como as tomadas de decisão, o trabalho sobre pressão, entre outras.

5.3 Perspetivas futuras

Em termos futuros, esta dissertação permite desde já servir de comparação para outros trabalhos que possam surgir, uma vez que atualmente a soluções tecnológicas estão em grande expansão em termos industriais, e o futuro passa inevitavelmente pelos veículos autónomos.

Numa visão mais concreta, existem alguns pontos que podem ser melhorados no sistema de produção, mas que por falta de tempo e meios de trabalho não permitiram ser implementados neste momento. A primeira melhoria visa a eliminação de operadores no transporte de materiais. Dada a limitação do AGV ao nível da capacidade de transporte, continua a ser necessário efetuar o transporte de materiais por outros meios como empilhadores ou pontes.

Outra melhoria que deve ser introduzida no futuro, é o alargamento do transporte autónomo à totalidade do sistema de produção. Neste momento só existem movimentos obrigatoriamente com partida ou chegada ao armazém, quando existe transporte de materiais entre, por exemplo, as zonas de pré montagem e os postos de linha. Seria necessário um investimento maior em termos computacionais e também seria necessário mais tempo para planear tal sistema, uma vez que a complexidade dos movimentos aumentaria bastante.

Referências

- [1] Iniciativa Produtech. Disponível em: <http://bip.inescporto.pt/121/destaque.html>.
- [2] Joana Rodrigues. “An analysis and evaluation of Discrete Production Systems: a Simulation based approach”. Master's Thesis. Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto, 2008.
- [3] Hammond G., AGVS at work, IFS Publications Ltd., United Kingdom, 1986
- [4] AGV-Electronics (2011). Agv school and information. Disponível em: <http://www.agve.se>
- [5] Paulo Filho. “Um sistema inteligente de simulação para avaliação de desempenho operacional de sistemas flexíveis de manufatura”. Tese de doutoramento. Universidade federal de Santa Catarina.
- [6] Segurança dos AGVS. Disponível em: http://www.egeminusa.com/pages/agv_education/education_safety.html
- [7] Soluções no Mercado para o carregamento de baterias. Disponível em: <http://www.vahleinc.com/battery-charging-contacts.html>)
- [8] Soluções no Mercado para o carregamento de baterias. Disponível em: http://www.egeminusa.com/pages/battery_charging/agvs_battery_charging_manswap.html)
- [9] Segurança dos AGVS. Disponível em: <http://www.system-agv.com/ita/sicurezza-e-manutenzione.php>
- [10] Segurança dos AGVS. Disponível em: http://www.agve.se/page/by_desc/safety
- [11] Somos Inovação. Cotec Portugal. Disponível em: http://www.cotecportugal.pt/index.php?option=com_content&task=view&id=771&Itemid=404
- [12] Empresa Adira. Disponível em <http://www.adira.pt/002.aspx?dqa=0:0:0:13:39:1;39:-1:0:0&ct=>
- [13] Luís Rocha. “Logística Flexível Baseada em AGVs”. Tese de mestrado. Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto, 2010.
- [14] Ferramenta de simulação SIMIO. Disponível em: <http://www.simio.com/products/>
- [15] Piontek, Jochem. “Bausteine des Logistikmanagements. Supply Chain Management E-Logistics Logistikcontrolling. 3”, 2009

- [16] João Bastos. Produção Integrada por Computador-Material de Apoio à Disciplina. Instituto Politécnico Português, 2006
- [17] Luiz de Paiva. Customização de produtos e cadeia de suprimento, 2007
- [18] AGV Transportation System for Internal Material Supply. Master's Thesis in the Master Degree Programme, Production Engineering. Chalmers, 2011
- [19] JBT Corporation. Disponível em: <http://www.jbtc-agv.com/>
- [20] AnyLogic homepage. Disponível em: www.anylogic.com
- [21] AGVs as part of a flexible manufacturing system. Disponível em: <http://www.enotes.com/automated-guided-vehicle-agv-reference/automated-guided-vehicle-agv>
- [22] Khosrow-Puor, Mehdi. “ERP enterprise resource planning”. Emerging Trends and Challenges in Information Technology Management, 2006
- [23] INESC Porto. Serviços de consultadoria em gestão das operações e sistemas de informação
- [24] Glossary of Terms. Disponível em: <http://www.physicalgeography.net/physgeoglos/s.html#system>.
- [25] Software Rockwell. Arena Basic User's Guide, (2005).
- [26] Ayers, James B. “Introduction to the supply chain”, 2001
- [27] Why integrate MES and ERP? Because you can't afford not to. Siemens Energy & Automation, Inc. Process Automation Systems Fevereiro, 2006
- [28] Paulo Marques. “Simulação de um sistema automatic de logística interna para a indústria de calçado”. Tese de mestrado. Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto, 2007
- [29] Ronaldo Mardegan, Vinicius Martins e João Fernando Gomes de Oliveira. Estudo da integração entre sistemas scada, mes e erp em empresas de manufatura discreta que utilizam processos de usinagem. Em XXIII Encontro Nac. de Eng. de Produção Outubro, 2003
- [30] Francis, Richard L.; White, John A. “Facility layout and location an analytical approach”. Englewood Cliffs: Prentice Hall, 1974
- [31] Luiz de Paiva. MES Manufacturing Execution System, Junho 2008
- [32] Ohno, Taiichi. “Toyota Production System. Productivity” 1988
- [33] G. Chryssolouris. “Flexible Manufacturing Systems - Theory and Practice”, 2005

- [34] Fernando Augusto Silva Marins. Sistema de coleta programada MilkRun, Novembro 2003
- [35] Luiz de Paiva. Lean na cadeia de suprimento, 2007
- [36] Bill Nordgren CEO Flexsim Software Products, Inc. Porque similar?
- [37] T, Salamon. “Design of Agent-Based Models : Developing Computer Simulations for a Better Understanding of Social Processes”, 2011
- [38] Introdução ao software Simio. Disponível em: <http://www.simio.com/resources/white-papers/For-Arena-Users/An-Introduction-to-Simio-For-Arena-Users.htm>